www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

4e JAARGANG NUMMER 6 JUNI 1939

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN RÖNTGENBUIS VOOR 1 MILLIOEN VOLT

door J. H. van der TUUK. 621.386.1.027.7:615.849

Bij de toepassing van röntgenstralen in de medische therapie bestaat tegenwoordig een streven om tot hoogere spanningen over te gaan. De hierdoor verkregen zeer harde röntgenstralen (vergelijkbaar met γ-stralen) bieden het voordeel van een veel hooger rendement, een grooter dieptequotient en een geringere strooiing. In dit artikel worden de problemen besproken, waarvoor men bij de constructie van röntgenbuizen voor zeer hooge spanningen komt te staan. Hierna wordt een röntgenbuis voor 1 millioen volt beschreven, die in het Philips röntgenlaboratorium is ontwikkeld en die thans in het kankerinstituut (Antoni van Leeuwenhoekhuis) te Amsterdam wordt gebruikt. In tegenstelling met experimenteele buizen voor deze spanning, die bijv. in Amerika in gebruik zijn, werkt de buis zonder pompinstallatie en heeft zij slechts een geringe lengte (2,4 m). De verkregen dosis is aequivalent met die van ongeveer één kilogram radium. Eenige eigenschappen van de extreem harde röntgenstralen, alsmede de noodige maatregelen voor bescherming, worden in het slot besproken.

Bij de toepassing van röntgenstralen in de medische therapie, met name voor de behandeling van kwaadaardige gezwellen, wordt gebruik gemaakt van de destructieve werking der röntgenstralen op weefsels. Naast de röntgenstralen worden voor hetzelfde doel de γ-stralen van radium toegepast. Uit physisch oogpunt bestaat tusschen röntgen- en γ-stralen geen principieel verschil: de γ-stralen zijn röntgenstralen van zeer groote hardheid (zeer kleine golflengte), die men o.a. kunstmatig kan opwekken, zoodra men röntgenbuizen voor voldoend hooge spanningen (voor de hardste γ-stralen van radium ruim 2 millioen volt) ter beschikking heeft. Aangezien echter het mechanisme van de invloed der stralen op weefsels nog slechts zeer onvolledig bekend is, is het denkbaar, dat de werking der γ-stralen uit biologisch oogpunt zou kunnen verschillen van die der zachtere röntgenstralen, die bijv. bij 200 kV worden verkregen.

Een dergelijke specifieke werking der zeer harde röntgenstralen is tot op heden niet overtuigend aangetoond. Wel echter heeft de zeer harde röntgenstraling verschillende eigenschappen, waardoor men bij haar klinische toepassing wellicht gunstiger resultaten mag verwachten dan bij de zachtere (200 kV) stralen. Het rendement van het opwekkingsproces der stralen neemt met toenemende spanning aan de buis zeer sterk toe; voorts vertoont het dieptequotient bij de bestraling van patienten, d.i. de verhouding der doses bijv. 10 cm onder de huid en aan het huidoppervlak, een aanzienlijke stijging, terwijl tevens minder straling in zijdelingsche richtingen en terug gestrooid wordt, zoodat het omliggende gezonde weefsel en de huid minder aangetast worden. Deze voordeelen lijken belangrijk genoeg om, ook bij afwezigheid van eenig specifiek effect der zeer harde stralen, de medische belangstelling voor röntgenbuizen voor zeer hooge spanningen te wettigen. In dit artikel willen we de ontwikkeling van deze buizen in het kort weergeven en speciaal een röntgenbuis voor 1 millioen volt beschrijven, die tegenwoordig wordt gebruikt in het kankerinstituut (Antoni van Leeuwenhoekhuis) te Amsterdam.

Problemen bij de constructie van röntgenbuizen voor zeer hooge spanningen

Tracht men een gewone röntgenbuis, zooals die in de diagnostiek of het structuuronderzoek wordt gebruikt en die voor hoogstens 100 kV is berekend, met hoogere spanningen te belasten, dan treden ongewenschte verschijnselen op zoowel buiten als binnen de buis. Buiten de buis kunnen overslagen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

in de lucht tusschen de electroden optreden of glijvonken langs het glas. Binnen de geëvacueerde buis treden zelfstandige ontladingen op met als gevolg plaatselijke vernieling van het glas of de electroden. Hiermede zijn reeds de belangrijkste moeilijkheden genoemd, waarmede men bij de constructie van röntgenbuizen voor zeer hooge spanningen te kampen krijgt.

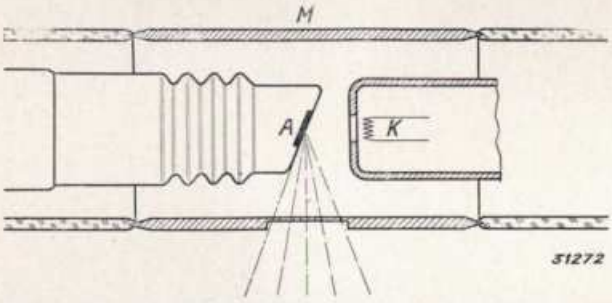

Fig. 1. Principeschets van het electroden-systeem van een röntgenbuis voor 200 kV. De anode *A* en kathode *K* bevinden zich op ongeveer 1 cm afstand. Het glas van de buis is ter plaatse van de eigenlijke ontladingsruimte vervangen door een chroomijzeren middenstuk *M*.

Voor het vermijden van overslag enz. buiten de buis is een bepaalde isolatielengte noodig tusschen de plaatsen, die op hooge spanning ten opzichte van elkaar komen te staan. Binnen de buis is de situatie ingewikkelder. De grootste last ondervindt hier de constructeur van de vagebondeerende electronen, die op tweeërlei manier kunnen ontstaan: door electronenbombardement (secundaire electronen) en door zg. koude emissie [1]).

Wanneer dergelijke vagebondeerende electronen op ongewenschte plaatsen in de buis komen, kunnen zij op verschillende wijze kwaad berokkenen. Het glas, waar zij op treffen, wordt verwarmd; daardoor kan electrolyse (in de buurt der insmeltingen) of plaatselijke aanvreting of perforatie optreden. De gasatomen, die in de buis nog aanwezig zijn, worden geïoniseerd, waardoor doorslag tusschen de electroden kan worden ingeleid. De metalen gedeelten, die door de ongeregelde electronen getroffen worden, zenden een ongewenschte röntgenstraling uit. Bij deze effecten komen nog andere, waardoor de reeds genoemde in de hand worden gewerkt. Bijv. geven de verwarmde gedeelten weer gassen af, waardoor de ionisatie vermeerderd wordt. De vagebondeerende electronen maken uit metalen onderdeelen weer nieuwe electronen vrij. Ook veroorzaken zij eventueel een negatieve lading van geïsoleerde gedeelten van de buis, met als gevolg vervorming van het electrische veld en verhoogde kans op koude emissie, eventueel glijvonken langs de buis of zelfs doorslag door het glas.

Om een overzicht te geven van de wijze, waarop deze moeilijkheden worden opgelost, is het wellicht het eenvoudigst, een aantal buizen de revue te laten passeeren, waarvan we de spanning successievelijk hebben kunnen opvoeren.

In *fig. 1* is in principe het electroden-systeem weergegeven van een buis, die op spanningen tot 200 kV kon worden belast. De buis zelf heeft een behoorlijke lengte, om de electroden in de lucht op voldoende afstand te houden. De electroden binnen in de buis zijn op betrekkelijk kleine afstand (ongeveer 1 cm bij 200 kV) tegenover elkaar geplaatst. Dit is o.a. gewenscht om te beletten, dat de electronen op hun weg teveel gasatomen tegenkomen en ioniseeren: hoe korter de wegen der electronen, hoe minder ionisatie kan optreden. Om dezelfde reden wordt de buis bij de fabricage grondig ontgast, teneinde een zoo goed mogelijk vacuum te verkrijgen. Het glas van de buis is ter plaatse van de eigenlijke ontladingsruimte vervangen door een metalen middenstuk. Dit gedeelte der buis is nl. het meest blootgesteld aan een bombardement door de secundaire electronen, die op de anode tegelijk met de röntgenstraling worden opgewekt.

Deze secundaire electronen (10 à 20% van het aantal primaire electronen), die van de brandvlek naar alle richtingen worden geëmitteerd, zullen voor het meerendeel door het electrische veld weer naar de anode teruggetrokken worden. Daar zij echter voor een deel zeer groote snelheden bezitten (niet veel kleiner dan de snelheid der primaire electronen), komen zij in de electrodenconfiguratie van fig. 1 gedeeltelijk pas ver naar achteren op de anode terecht. De daar vrijgemaakte tertiaire electronen kunnen weer gevaarlijk worden voor het glas. Teneinde de secundaire electronen niet zoo ver te laten komen, werd nu voor de electroden de in *fig. 2* aangegeven vorm gekozen: het oppervlak van

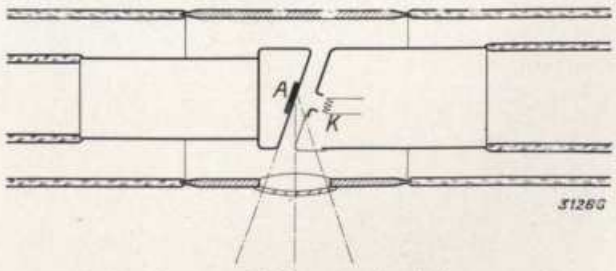

Fig. 2. Indien de oppervlakken van kathode en anode over een lengte gelijk aan 4 maal hun afstand evenwijdig loopen, worden alle secundaire electronen, die in de brandvlek ontstaan, weer naar het vóórvlak der anode teruggetrokken. De uitspringende hoek van de kathode is heel dun gemaakt, zoodat de röntgenstralen vrijwel onverzwakt kunnen passeeren.

[1]) Over de koude emissie verg. bijv. Philips techn. T. **4**, 107, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

kathode en anode loopt evenwijdig over een lengte, die 4 maal zoo groot is als hun onderlinge afstand. Men kan aantoonen [2]), dat bij deze configuratie alle secundaire electronen, die de brandvlek midden op de anode verlaten, weer op het vóórvlak van de anode terugvallen, dus niet buiten de ruimte tusschen de electroden kunnen komen.

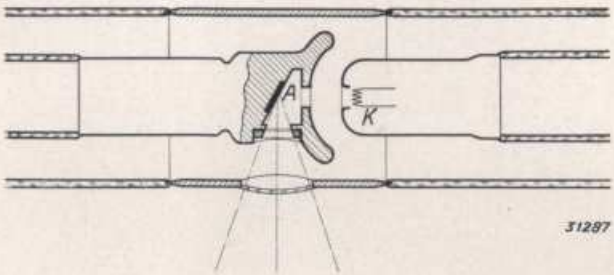

Fig. 3. Electrodenconfiguratie voor het opvangen der secundaire electronen in een holte der anode, resp. op het vóórvlak der anode. Door de geleidelijke kromming van het kathode-oppervlak wordt de kans op koude emissie belangrijk kleiner.

Op deze wijze werden, zooals reeds vermeld, spanningen van 200 kV bereikt. De configuratie van *fig. 3*, waarbij de secundaire electronen voor het grootste gedeelte in een holte in de anode worden gevangen en voor de rest op het holle vóórvlak van de anode terechtkomen, leidde tot nog iets hoogere spanningen (ongeveer 250 kV). Door de geleidelijke kromming van het kathode-oppervlak komen nl. geen scherpe randen, met verdichting van het electrische veld en verhooging der veldsterkte voor, zoodat de koude emissie minder gevaarlijk wordt.

Als volgende stap werd een buis geconstrueerd, die in hoofdzaak een evenredige vergrooting van de buis voor 200 kV op de dubbele afmetingen was. Bij de dubbele spanning, dus 400 kV, worden dan weer dezelfde maximale waarden van de veldsterkte bereikt als in de kleinere buis. Inderdaad bleek deze groote buis bij statische beproeving een tijd lang een spanning van 400 kV uit te houden. In het bedrijf echter (dwz. met stroomdoorgang) kon bij langdurige belasting de spanning niet hooger dan ongeveer 300 kV worden opgevoerd. De secundaire, tertiaire enz. electronen hadden hier klaarblijkelijk zooveel energie, dat zij, niettegenstaande hun op bovenbeschreven wijze verminderd aantal, door hun bombardement op den duur een te groote warmte-ontwikkeling, gasafgifte enz. veroorzaakten.

Een verbetering werd hier verkregen in de eerste plaats door het inbrengen van een gasbinder (meestal naar het Engelsch „getter" genoemd). Dit is een stof, die eventueel in de buis nog aanwezige of tijdens het bedrijf door electronenbombardement of verwarming vrijkomende gassen aan zich bindt en vasthoudt [3]). Het zoo verkregen hoogere vacuum bracht twee voordeelen mede. Ten eerste werd door de geringere ionisatie de kans op zelfstandige ontladingen in de buis verminderd, zoodat de spanning tot 350 kV kon worden opgevoerd. Ten tweede werd een stabielere emissie der wolfraamgloeikathode verkregen, hetgeen in de toepassing zeer gewenscht is om de doseering der toegediende röntgenstraling goed in de hand te hebben. De stabielere emissie bij toepassing van de gasbinder is te verklaren door het feit, dat geringe hoeveelheden van bepaalde gassen (bijv. zuurstof) in de buis de gloeiende kathode kunnen aantasten en haar emissievermogen (tijdelijk) bederven.

Zooals reeds werd vermeld, bestaat één der schadelijke effecten van de vagebondeerende electronen in een veldvervorming door het negatief laden van geïsoleerde gedeelten der buis. Een dergelijke lading trad vooral op bij het metalen middenstuk van de buis, dat de electroden omgeeft. Het lag voor de hand, deze veldvervorming onmogelijk te maken, door het middenstuk, wat de potentiaal betreft, niet te laten „zweven", maar het een vaste potentiaal te geven. Krijgen bijv. anode en kathode gelijk groote positieve resp. negatieve hoogspanning ten opzichte van aarde, dan kan men het omgevende middenstuk aarden. Door deze onderverdeeling der spanning kan tusschen middenstuk en anode nooit méér dan de halve buisspanning staan, terwijl het bij een „zwevend" middenstuk gebeuren kon, dat dit nagenoeg kathodepotentiaal aannam. Het principe van de onderverdeeling der spanning werd nu nog verder doorgevoerd door aan het middenstuk der buis een tusschenschot te bevestigen (*fig. 4*), waardoor de anode en de kathode

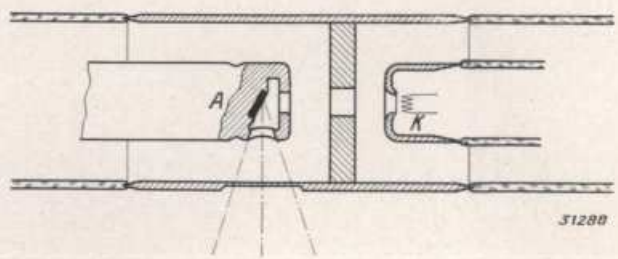

Fig. 4. Electroden-systeem met tusschenschot. Het middenstuk met het schot krijgt een vaste potentiaal, die midden tusschen de potentialen van anode en kathode ligt (symmetrische spanningsverdeeling).

in twee geheel gescheiden ruimten komen te staan, terwijl de primaire electronenbundel door een gat in het tusschenschot kan passeeren. De werking

[2]) A. Bouwers en J. H. van der Tuuk, Secundaire electronen in röntgenbuizen, Physica **12**, 274, 1932.

[3]) Zie bijv. ook Philips techn. T. **3**, 300, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

van dit tusschenschot is gemakkelijk te begrijpen: we zeiden reeds, dat vermeden moet worden, dat ongewenschte electronen lange afstanden in de buis afleggen. Om de veldsterkten, met het oog op het vermijden van koude emissie, niet de toelaatbare grens te laten overschrijden, moesten de buizen voor hoogere spanningen grooter worden en daarmede werden de totale weglengten van de electronen langer. Het tusschenschot echter brengt deze weglengten weer terug tot dezelfde orde als bij buizen van de halve spanning. De ionisatie en daarmede het gevaar van doorslag in de buis wordt zoodoende aanzienlijk minder. Bovendien kunnen de electronen, die door de koude emissie uit de kathode vrijkomen, nu niet meer tot de anode doorvliegen, maar slechts het tusschenschot bombardeeren, waar zij nog pas de halve energie hebben. De volgens dit principe geconstrueerde en van gasbinders voorziene röntgenbuizen bleken gemakkelijk spanningen tot 400 kV uit te houden en hierbij een alleszins bevredigende levensduur te bereiken [4]).

Door een consequente toepassing van het principe van de onderverdeeling der spanning kunnen nu ook technische röntgenbuizen voor nog veel hoogere spanningen gebouwd worden. Hiervoor worden twee of meer buizen, waarvan elke bijv. reeds voor 350 kV geschikt is, in serie geschakeld. Op deze wijze werd eerst een röntgenbuis voor 700 kV ontwikkeld, die elders is beschreven [5]). Thans is in het Philips röntgenlaboratorium volgens hetzelfde principe een röntgenbuis voor 1 millioen volt gebouwd. De bijzonderheden van deze buis, die we hier in het kort willen bespreken, zullen na de in het bovenstaande gegeven voorbereiding gemakkelijk duidelijk worden.

Constructie van de röntgenbuis voor 1 millioen volt

In *fig. 5* is de buis schematisch weergegeven. Men ziet, dat drie eenheden *1*, *2*, *3* in serie geschakeld zijn. De electroden van alle drie eenheden zijn doorboord. De electronen, die door de wolfraamgloeikathode *K* worden geëmitteerd en tusschen kathode en anode van de eerste buis versneld zijn, worden in de holle anode geschoten, vliegen met constante snelheid door het nauwe verbindingsstuk naar de tweede buis, worden hier tusschen kathode en anode een tweede keer, en tusschen kathode en anode van de derde buis een derde keer versneld.

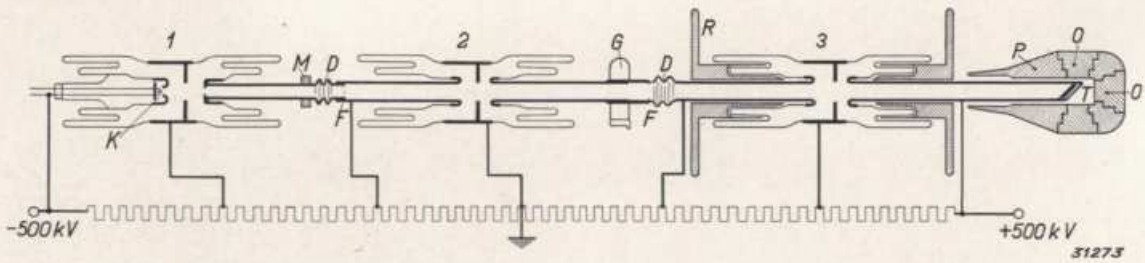

Fig. 5. Schema van de röntgenbuis voor 1 millioen volt. De drie eenheden *1*, *2*, *3* zijn afzonderlijk gereedgemaakt en geëvacueerd en dan aan elkaar gezet. Bij *F* folies voor provisorische afsluiting. *K* kathode, *T* antikathode, *M* focusseerende magneet, *D* flexibele metalen tusschenstukken, *G* metalen dop met reserve-gasbinders, *P* looden mantel ter afscherming van de röntgenstralen buiten de nuttige kegels, die door de vensters *O* worden doorgelaten. De ringvormige holten in de dubbel geplooide glazen wand van elke eenheid zijn met een lichaam *R* van „Philite" opgevuld (alleen bij de derde eenheid geteekend). De spanning aan de buis is in zes trappen onderverdeeld, die van een potentiometer afgetakt worden.

Aan het einde van de boring der derde anode treffen de electronen tenslotte op de antikathode *T*, waar de röntgenstraling wordt opgewekt.

De drie eenheden worden afzonderlijk gereedgemaakt, ontgast en geëvacueerd; hierbij zijn zij aan de uiteinden provisorisch afgesloten door dunne folies. De uiteinden der buizen worden dan aaneengezet, als in *fig. 6* weergegeven, en aan elkaar gesoldeerd. De verbinding tusschen het vacuum der drie afzonderlijke buizen wordt tot stand gebracht door de folies eenvoudig door het bombardement der primaire electronen te doen smelten. Dat men

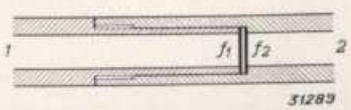

Fig. 6. Het aan elkaar zetten der afzonderlijke eenheden. De uiteinden der anodepijp van *1* en der kathodepijp van *2* zijn met een dun folie f_1 resp. f_2 provisorisch afgesloten. De uiteinden worden aan elkaar gesoldeerd, waarna slechts zeer weinig lucht tusschen de folies ingesloten blijft. Deze luchtresten, evenals bij het perforeeren en smelten der folies vrijkomende gassen, worden door een gasbinder opgenomen.

[4]) Dergelijke buizen worden sedert eenige jaren met succes gebruikt in het Instituut van Prof. Maisin te Leuven. De buizen hebben hierbij een levensduur van 2000-4000 uren. Vgl. J. Maisin en P. Estas, Radiologica **1**, 100, 1937.

[5]) A. Bouwers en J. H. van der Tuuk, Brit. J. Radiology **9**, 431, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

op deze wijze te werk kan gaan, is alleen mogelijk dank zij de toepassing der genoemde gasbinders, die de gassen absorbeeren, welke bij het soldeeren en perforeeren vrijkomen. Aangezien een goed vacuum bij toenemende spanningen hoe langer hoe meer een essentieele rol gaat spelen, is de gemakkelijkheid, waarmede in de hier beschreven buis het vacuum tijdens het bedrijf zonder pompinstallatie gehandhaafd wordt (het blijft $< 10^{-5}$ mm Hg), één van haar belangrijkste eigenschappen. Het is zelfs mogelijk gebleken, de buis te openen en bijv. één der drie eenheden door een nieuwe te vervangen, waarna evacuatie bij kamertemperatuur met een transportabele pomp voldoende bleek om de buis na afsmelten weer feilloos te doen werken. In de metalen dop *G* zijn nog een paar reserve-gasbinders aangebracht, die desgewenscht door verdampen in werking gesteld kunnen worden.

Een andere, practisch zeer welkome eigenschap van de buis is haar betrekkelijk kleine lengte, die mogelijk is gemaakt door de dubbel geplooide vorm der glasverbindingen tusschen kathode, middenstuk en anode van elke eenheid. Door deze kunstmatige verlenging van het isoleerende glas zijn nl. glijvonken langs de buitenkant van het glas vermeden, terwijl een plaatselijke directe overslag verhinderd wordt, door de ringvormige holten der plooien met een „Philite"-lichaam op te vullen (in fig. 5 alleen bij de derde eenheid geteekend). Elke eenheid is nu 40 cm lang en de totale lengte van de buis, inclusief de bolvormige afscherming der electroden aan weerskanten tegen coronaverliezen, bedraagt 2,4 m. Teneinde de primaire electronen op de lange afstand tusschen kathode *K* en antikathode *T* behoorlijk bij elkaar te houden, is bij de gloeidraad een focusseerend electrisch veld en bij *M* een focusseerend magneetveld (van een ringvormige permanente magneet) aangebracht. De verliezen van de electronenstroom bij het passeeren der nauwe verbindingspijpen bedragen hierdoor hoogstens enkele procenten.

In elke eenheid vindt men het hierboven uiteengezette principe van de onderverdeeling der spanning terug. De middenstukken (met tusschenschot) van de drie eenheden en de twee verbindingsstukken krijgen zoodanige potentialen, dat de spanning tusschen kathode en antikathode in zes gelijke trappen wordt verdeeld. De eenvoudigste en beste methode, om de afzonderlijke gedeelten der buis op de vereischte potentialen te brengen, bestaat in het aftakken der desbetreffende spanningen van de hoogspanningsgenerator. Deze methode kan alleen toegepast worden, wanneer een cascadegenerator wordt gebruikt, die samen met de röntgenbuis is ontworpen zoodanig, dat het aantal in cascade geschakelde trappen beantwoordt aan de gewenschte spanningsverdeeling langs de röntgenbuis. In het algemeen zullen echter buis en generator niet bij elkaar aangepast zijn; in dat geval takt men de gewenschte spanningen van een potentiometer af. De koolweerstanden, die als potentiometer worden gebruikt, worden met olie gekoeld. Dezelfde circuleerende olie dient tevens voor koeling van de antikathode. De weerstanden zijn bij de opstelling in *fig. 7*, waar de buis op een wagentje is gemonteerd, in de twee „Philite"-zuilen aan weerskanten ondergebracht die de anti-corona-bollen van de electroden dragen (in elke zuil 200 megohm). Het midden van de buis is hierbij geaard.

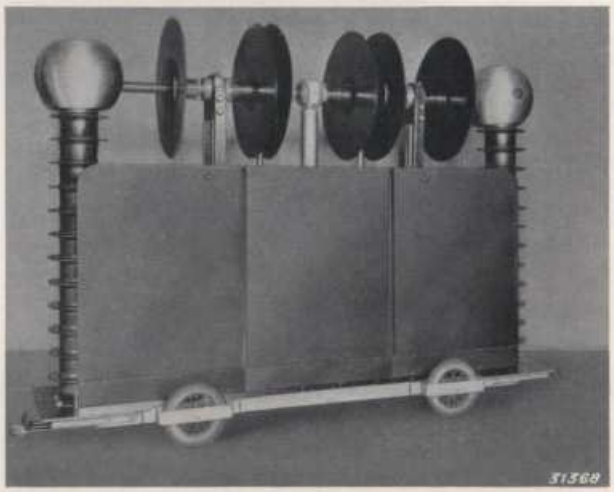

Fig. 7. Röntgenbuis voor 1 millioen volt, gemonteerd op een wagentje. De geheele lengte, inclusief de tegen coronaverliezen aangebrachte bollen op de uiteinden, bedraagt 2,4 m. In de isoleerende zuilen aan weerskanten, die de buis dragen, zijn de met olie gekoelde potentiometerweerstanden aangebracht, waarvan de spanningen voor de verschillende gedeelten van de buis worden afgetakt.

In elk der verbindingsstukken tusschen de drie eenheden is een flexibel metalen tusschenstuk aangebracht, waardoor het mogelijk wordt de buis als een geheel te transporteeren.

Uit het bovenstaande zal wel duidelijk geworden zijn, dat in principe geen grens gesteld is aan het aantal in serie te schakelen eenheden, zoodat dus desgewenscht buizen vervaardigd kunnen worden voor nog veel hoogere spanningen dan 1 millioen volt.

Toepassing van de buis in een installatie

Bij de practische toepassing van de buis moet de omgeving voldoende beschermd worden tegen de röntgenstralen, die door de antikathode naar alle richtingen worden uitgezonden. Zooals we straks nog zullen zien, is hiervoor een looden pantser noodig van bijna 10 cm dikte. De in fig. 5 weerge-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

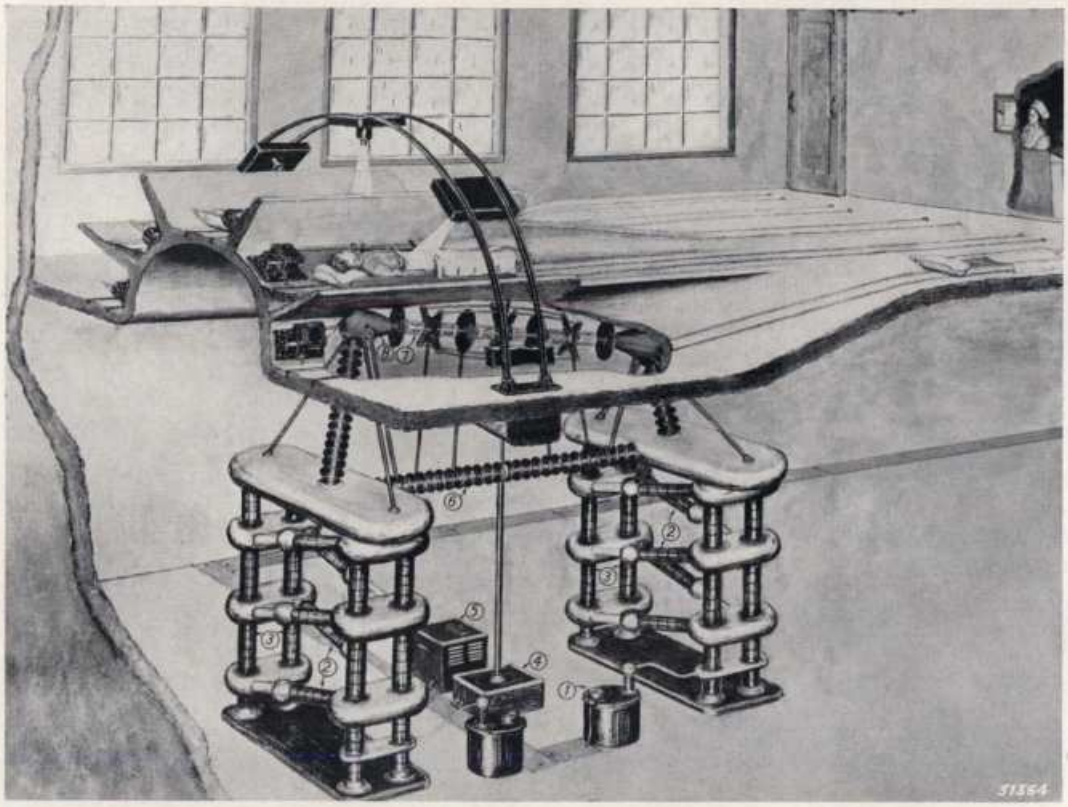

Fig. 8. Schets van een volledige installatie voor bestraling (volgens dit principe is de installatie in het kankerinstituut te Amsterdam uitgevoerd). De buis is boven op een cascadegenerator gemonteerd. Daarboven bevindt zich de bestralingsruimte, waar verschillende patienten (te Amsterdam drie) gelijktijdig kunnen worden behandeld. *1* hoogspanningstransformatoren, *2* ventielen, *3* condensatoren, *4* oliebak met pomp voor koeling van de potentiometerweerstand *6* en de antikathode, *5* zender voor de hoogfrequente verhitting der kathoden van de ventielen, *7* röntgenbuis, *8* gaten voor het doorlaten der nuttige stralenkegels door de looden mantel om de antikathode. De patient wordt in een lichtkegel gebracht, die zoo gericht is, dat hij ter plaatse van het te bestralen oppervlak met de röntgenstralenbundel samenvalt.

geven constructie, waar de antikathode zich aan het eind van een lange dunne pijp bevindt, maakt de bescherming zeer gemakkelijk. De looden mantel kan onmiddellijk om deze pijp aangebracht worden, waardoor men met een betrekkelijk kleine hoeveelheid lood uitkomt. In de looden mantel zijn verschillende vensters uitgespaard, zoodat eventueel verschillende patienten tegelijk bestraald kunnen worden. Een opstelling van de buis, analoog aan die, welke gekozen is in het kankerinstituut te Amsterdam, is in *fig. 8* geschetst. De hoogspanning van 1 millioen volt wordt geleverd door een tweepolige cascadegenerator, zooals die reeds eerder in dit tijdschrift werd beschreven [6]). De röntgenbuis is boven op de generator gemonteerd en in het midden geaard. De vloer van de bestralingsruimte (boven de generator) is vlak boven de buis cylindervormig gewelfd; hier liggen, door wanden afgescheiden, de patienten, die gelijktijdig worden bestraald. De afstand van elke patient tot de antikathode bedraagt minstens 1 m, hetgeen noodzakelijk is, aangezien de antikathode op hoogspanning staat (500 kV). De spanning aan de buis wordt eenvoudig gemeten door de stroom, die door de reeds vermelde potentiometerweerstand loopt. Deze stroom is van de orde van 1 à 2 mA. In *fig. 9* en *10* geven wij twee foto's van de installatie te Amsterdam, die nog enkele bijzonderheden van de opstelling der röntgenbuis laten zien.

Is het gewenscht om de patient op kleinere afstand van de brandvlek der buis te kunnen brengen, dan kan men in plaats van het midden van de buis de antikathode aarden. In dat geval heeft men een hoogspanningsgenerator voor 1 millioen volt tegen aarde noodig. Een geprojecteerde installatie van dit type is in *fig. 11* geschetst.

Eigenschappen der verkregen röntgenstraling

De kortste golflengte λ (in Ångström) der röntgenstralen, die men bij een spanning V (in kilovolt)

[6]) Philips techn. T. **1**, 6, 1936; **2**, 161, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

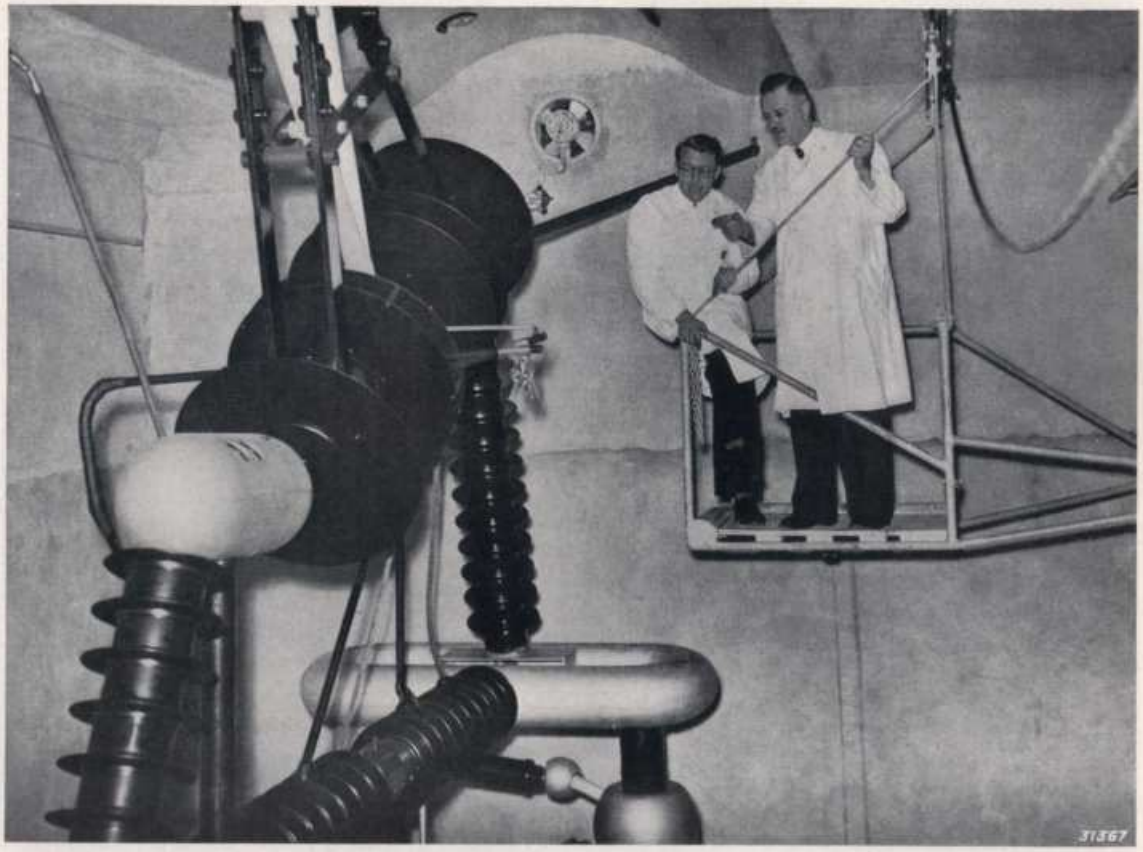

Fig. 9. Uitvoering van de in fig. 8 geschetste installatie in het kankerinstituut te Amsterdam.

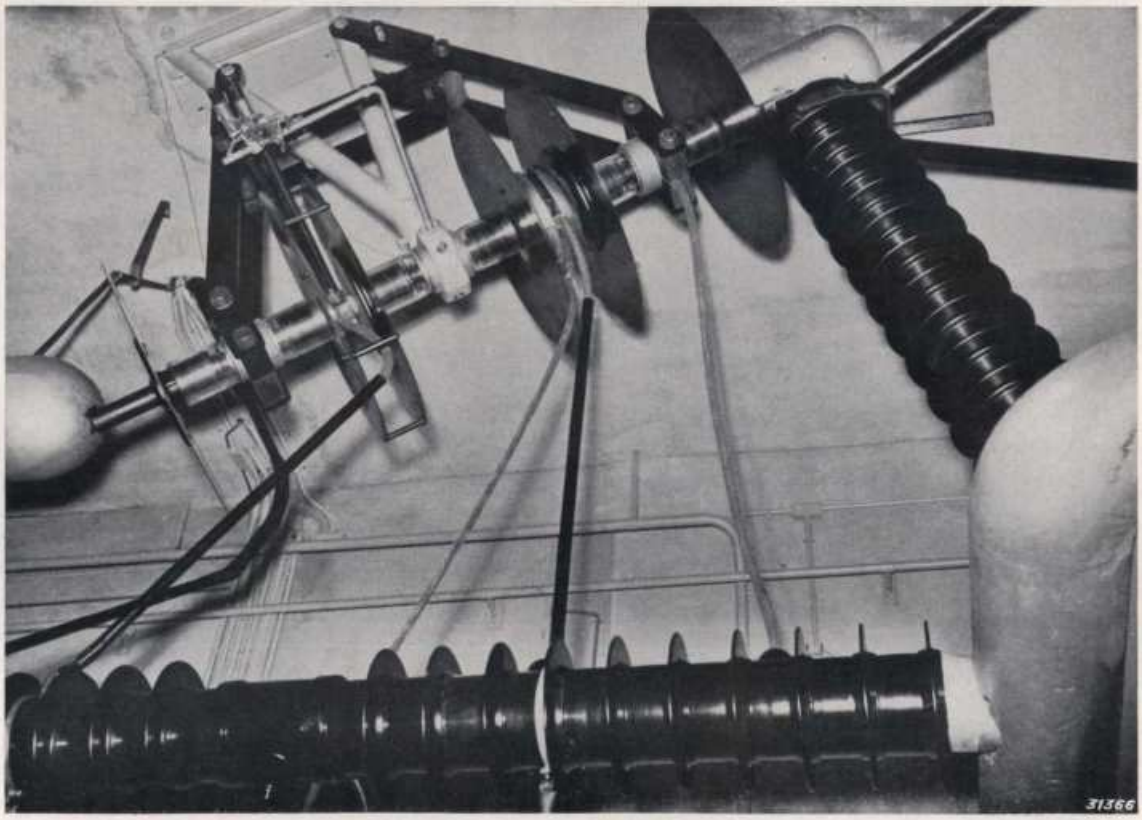

Fig. 10. Ophanging van de röntgenbuis in de installatie in het kankerinstituut te Amsterdam. Het midden van de buis is geaard en rechtstreeks aan het plafond opgehangen. De eerste en de derde eenheid worden door stangen van isoleerend materiaal gedragen. Men ziet duidelijk de verschillende aftakkingen van de potentiometerweerstand.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

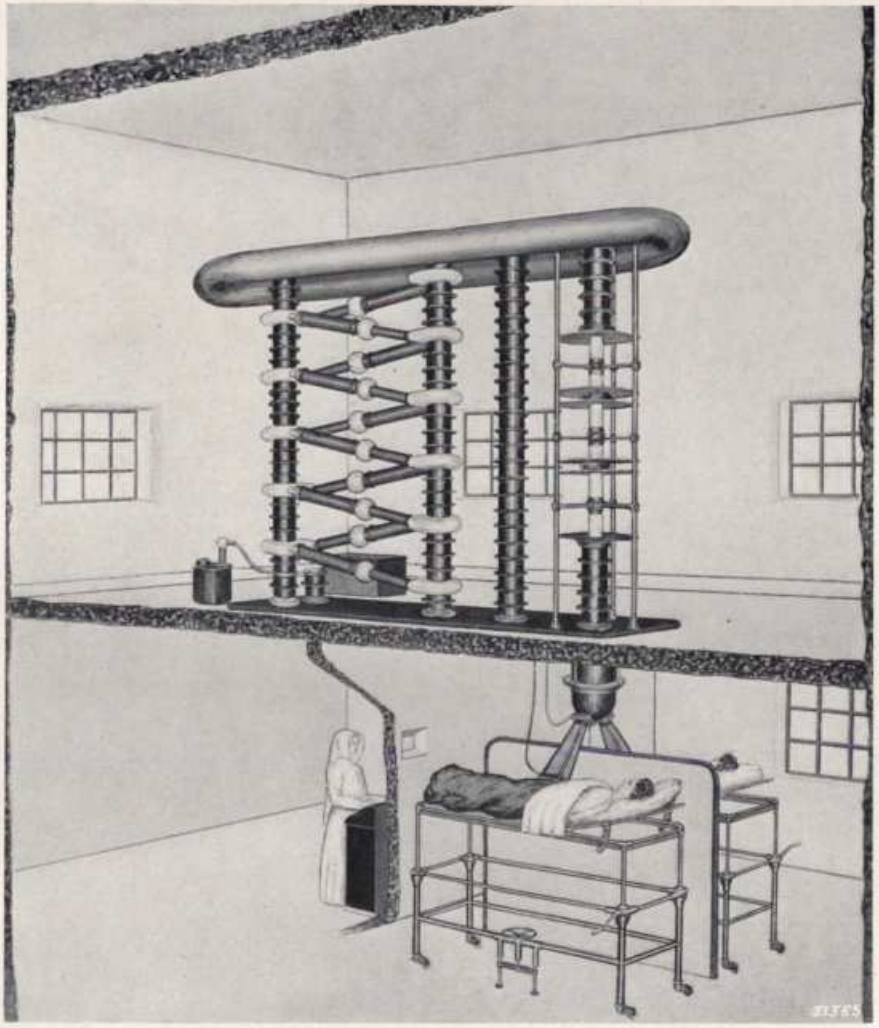

Fig. 11. Geprojecteerde installatie met een röntgenbuis voor 1 millioen volt, waarbij de stralenbron (antikathode) geaard is. De cascadegenerator moet hier een spanning van 1 millioen volt tegen aarde leveren, is dus van het éénpolige type.

kan verkrijgen, volgt uit de betrekking:

$$V\,\lambda = 12{,}4.$$

Bij $V = 1000$ kV ligt de grens van het röntgenspectrum dus bij $\lambda = 0{,}0124$ Å. In *fig. 12* is het spectrum van de straling van een buis voor 1 millioen volt en tevens het lijnenspectrum der γ-straling van radium weergegeven. Het maximum van de straling der röntgenbuis ligt bij ongeveer 0,018 Å, doch tevens wordt een groote hoeveelheid zachtere straling uitgezonden. Men kan het zwaartepunt der emissie meer naar korte golven verschuiven door ze een geschikt filter te laten passeeren. De zachte straling wordt hierbij in hoogere mate geabsorbeerd dan de harde, zoodat de straling na doorloopen van het filter harder is geworden. Het effect van een filter, bestaande uit een looden plaatje van 1 resp. 2 mm dikte, is in fig. 12 aangegeven.

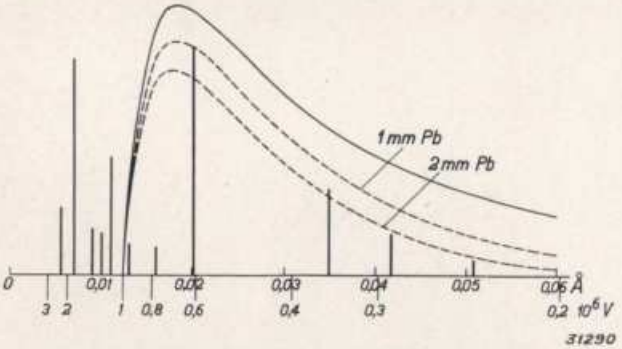

Fig. 12. Het lijnenspectrum der γ-straling van radium en het spectrum der röntgenstraling van een buis voor 1 millioen volt (volgens Eve en Grimmett, Nature **139**, 52. 1937). Het zwaartepunt van het röntgenspectrum kan door filters naar kortere golven verschoven worden, zooals uit de gestippeld weergegeven spectra bij toepassing van vóórfilters van 1 resp. 2 mm lood blijkt. Naast de golflengte op de abscis zijn de spanningen in 10^6 volt aangegeven, die minstens noodig zijn voor het opwekken van röntgenstralen van die golflengte.

De hardheid, dwz. het doordringend vermogen van een röntgenstraling wordt in de practijk meestal aangegeven door de halveeringsdikte van een of ander materiaal (meestal koper), d.i. de dikte van een filter, waardoor de dosis op de helft wordt verzwakt. In *tabel I* zijn de halveeringsdikten aangegeven, die

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Tabel I

Halveeringsdikten voor röntgenstralen, verkregen met verschillende spanningen en bij verschillende filters. Het dieptequotient op 10 cm diepte is de verhouding d_{10}/d_0, de terugstrooiing de verhouding $(d_0-d)/d$, de reststraling de verhouding d_{20}/d_0, wanneer d_0 beteekent de dosis gemeten aan het huidoppervlak, d de dosis ter plaatse van het huidoppervlak, indien het bestraalde object verwijderd is, d_{10} de dosis op 10 cm diepte onder de huid en d_{20} de dosis aan de achterkant. De metingen zijn uitgevoerd met een 20 cm dik waterfantoom, waarvan een veld van 150 cm² van het vóórvlak op 100 cm afstand van de brandvlek werd bestraald.

Spanning in kV_{max}	Filter: Metaaldikten in mm	Halveeringsdikte in mm Cu	Dieptequotient in %	Terugstrooiing in %	Reststraling in %
200	1 Cu	1,6	41,0	29,5	7,4
400	0,5 Sn + 3,5 Cu	4,4	44,5	16,5	10,4
600*	0,5 Sn + 3,5 Cu	5,5	45,0	13,8	11,3
800*	0,5 Sn + 3,5 Cu	5,9	45,5	12,3	12,0
800*	3Pb + 0,5Sn + 3,5Cu	8,7	47,0	9,0	—

* Deze spanningen hadden een rimpel van ca. 20%, terwijl de overige constante gelijkspanning waren.

bij verschillende spanningen en verschillende vóórfilters zijn gemeten. Men ziet, dat men bij 800 kV en een geschikt vóórfilter meer dan 5 maal zoo groote halveeringsdikten bereikt als bij 200 kV. Voor de practische toepassing der straling in de therapie beteekent dit, dat de straling beter tot ziektehaarden binnen het lichaam van de patient kan doordringen. De mate van dit doordringen wordt uitgedrukt door het reeds genoemde dieptequotient. Tabel I geeft het aan een waterfantoom [7]) gemeten dieptequotient voor verschillende spanningen. Een vooruitgang van 41 % tot 47 % werd geconstateerd; de practijk zal moeten leeren, inhoeverre de klinische resultaten hierdoor gunstig worden beïnvloed. In dezelfde tabel is ook de procentueele terugstrooiing aangegeven, d.i. de verhooging der dosis ter plaatse van het huidoppervlak, veroorzaakt door de aanwezigheid van het bestraalde object. De terugstrooiing neemt, zooals de tabel leert, met toenemende hardheid der stralen sterk af. In het algemeen kan men zeggen, dat een bundel van harde stralen bij het passeeren van het bestralingsobject beter zijn geometrische vorm behoudt dan zachte stralen, daar de harde stralen minder gestrooid worden. De gezonde weefsels rondom de ziektehaard worden dus bij harde stralen meer gespaard.

Een ander belangrijk punt is de zeer sterke toename van de verkregen dosis. Bij 870 kV en 1 mA levert de beschreven buis reeds dezelfde dosis als één kilogram radium. Dit is niet alleen van belang wegens de mogelijkheid, om de bestralingstijden te verkorten, maar ook omdat men de afstand van de brandvlek tot de huid grooter kan kiezen, waardoor weer een grooter dieptequotient verkregen wordt [8]). In *tabel II* zijn de doses weergegeven, die onder overigens dezelfde voorwaarden werden verkregen, indien de hierboven beschreven buis met verschillende spanningen werd bedreven. Van 200 tot 1000 kV wordt de dosis, bij gelijke stroomsterkte, 45 maal zoo groot. Het rendement neemt dus met een factor 9 toe. Dit geldt voor de dosis in de richting loodrecht op de primaire electronenbundel. Bij spanningen van bijv. 200 kV is deze dosis vrijwel gelijk aan die in het verlengde van de electronenstraal, bij hoogere spanningen echter treedt een steeds meer uitgesproken richteffect op, waardoor de dosis in het verlengde van de electronenbundel aanzienlijk grooter wordt dan de in tabel II weergegeven dosis loodrecht hierop. Zoodoende wint men bijv. bij 800 kV nog een extra factor 2 à 3. Gezien dit resultaat en de groote bedrijfszekerheid, waarmede ook de röntgeninstallaties voor hoogere spanningen werken, kan men zich afvragen, of voor het verkrijgen van eenzelfde groote dosis het toepassen van hoogere spanningen dan 200 kV niet reeds om uitsluitend economische redenen te verkiezen is boven het werken met spanningen van ca. 200 kV en groote stroomsterkten.

Tabel II

Dosis vrij in lucht bij verschillende spanningen (constante gelijkspanning) en 1 mA buisstroom, gemeten op 1 m afstand van de brandvlek (loodrecht op de richting der primaire electronen) bij een vóórfilter van 2,5 mm koper. De tevens aangegeven looddikten zijn vereischt om deze straling tot de tolerantiedosis terug te brengen (10^{-5} r/sec).

Spanning in kV	Dosis in r/min	Looddikte voor bescherming in mm
200	0,45	4
400	3,5	16
600	8,1	35
800	14,0	55
1000	20,0	80

[7]) Om de absorptie en strooiing van röntgenstralen in het menschelijk lichaam te bestudeeren maakt men gebruik van nabootsingen van het lichaam, die bij de genoemde processen hetzelfde gedrag vertoonen. Dergelijke „fantomen" worden veelal van water gemaakt, soms ook uit „Philite", paraffine en derg. Zie bijv. ook Philips techn. T. 4, 120, 1939.

[8]) De dosis neemt nl. bij het passeeren der stralen door een lichaam ook afgezien van de absorptie reeds met het kwadraat van de afstand tot de brandvlek af. Deze afname zal des te kleiner zijn, naarmate die afstand grooter is in verhouding tot de dikte van het lichaam.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Bescherming tegen de straling

Terloops hebben we reeds de noodzaak van een doeltreffende bescherming vermeld. Hiervoor moet de straling op alle plaatsen buiten de nuttige stralenkegels gereduceerd worden tot de zg. tolerantiedosis [9]) van 10^{-5} r/sec. In tabel II zijn naast de verkregen nuttige doses de voor deze bescherming vereischte looddikten opgegeven. Men ziet, dat bij de hoogste spanning een looden plaat van 8 cm dikte noodig is. Om de antikathode is dan ook een soort looden bol met deze wanddikte aangebracht.

Behalve de primaire straling buiten de nuttige kegels moet ook de straling geabsorbeerd worden, die in de nuttige kegels na het passeeren van de patient overgebleven is. Deze reststraling vormt nog een vrij groot percentage van de primaire straling (zie tabel I), zoodat hiervoor looddikten tot 7,5 cm noodig zijn. De secundaire röntgenstralen daarentegen, die in het bestraalde lichaam ontstaan en die naar alle kanten worden geëmitteerd, zijn betrekkelijk zacht en kunnen door vrij dunne looden platen onschadelijk worden gemaakt. Dit is voor het werken met de harde stralen zeer welkom, daar men dan met niet al te zware muren voor de bestralingsruimten kan volstaan. Bij bestraling van een veld van 150 cm² van het fantoom op 100 cm afstand van de brandvlek, bij 800 kV buisspanning, 1 mA buisstroom en 2,5 mm koper als vóórfilter, bleek reeds 2 mm lood voldoende om de gestrooide stralen op 1 m afstand beneden de tolerantiedosis te brengen.

[9]) In het in noot [7]) aangehaalde artikel is de tolerantiedosis 0,2 r/dag aangegeven. De dag is daarbij met 8 (werk)uren gerekend.

RADIOBUIZEN VAN NIEUWE CONSTRUCTIE

621.385

Beschreven wordt een radiobuis, waarin de „kneep"vormige doorvoer der toeleidingsdraden vervangen is door een vlakke bodem van geperst glas. In deze is de onderlinge afstand der toevoerdraden grooter dan bij een kneep, de lengten, waarover de toevoerdraden door het glas loopen en die vanaf de contactplaatsen buiten de buis tot aan de electroden binnen de buis zijn veel korter. Bovendien wordt de constructie daardoor steviger, terwijl het eveneens mogelijk was met behoud van de gewenschte lage waarde voor de capaciteit tusschen rooster en anode het rooster door de bodem uit te voeren. De voordeelen van de nieuwe constructie worden besproken; deze komen vooral duidelijk tot uiting bij het werken op zeer korte golven, mede doordat de buishuls van isolatiemateriaal verviel, die tot dusver werd gebruikt.

Inleiding

Het gade slaan van de geleidelijke ontwikkeling van velerlei nieuwe technische voortbrengselen leert, dat aanvankelijk bijna steeds een constructieve vorm gekozen wordt, die voordien voor andere soortgelijke doeleinden toepassing vond. De eerste auto lijkt op de ouderwetsche koets, het scheermes vóór de overgang op de veiligheidsscheermessen op een gewoon mes en de oudste electrische schakelaar op de gaskraan.

Op dezelfde wijze hebben de oudere radiobuizen in hun constructiedetails veel aan de gloeilampen ontleend. Evenals bij deze was een luchtledig gepompte glazen ballon noodig om een draad zonder aantasting op hooge temperatuur te brengen en te houden. De wijze van pompen en de doorvoer van de electrische verbindingen door de wand van de ballon werden daarbij vrijwel ongewijzigd overgenomen. Men pompte door een glazen buisje, „de pompstengel", die aanvankelijk op de bovenzijde van de ballon was aangesmolten. Draden met dezelfde uitzettingcoëfficient als het glas, dat er na verhitting omheen geknepen was, dienden in de „kneep" voor doorvoering. Op dezelfde wijze als bij een gloeilamp werd bij de radiobuizen een huls op de buis gekit, waardoor de aansluiting in toestellen gemakkelijk was uit te voeren.

De technische eischen, die men aan radiobuizen dient te stellen, werden aanvankelijk niet scherp omschreven en waren ten deele ook nog onbekend. Bij de steeds voortschrijdende ontwikkeling op dit gebied kreeg men echter geleidelijk een beter inzicht in de voor de radiobuizen specifieke gezichtspunten en in de mate waarin deze in de gebezigde bouw der buizen hun natuurlijke grenzen vinden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Aan welke eischen moet de constructie van een radiobuis voldoen?

Wij willen beginnen met enkele van deze eischen nader te bespreken. Al spoedig bleek, dat de onderlinge isolatie der electroden dus van kathode, roosters en anode aan zeer hooge eischen moet voldoen. In de, van de fabricage der gloeilampen overgenomen, kneepconstructie liggen deze electroden echter dicht bij elkaar (op afstanden van 0,5 tot 1 mm). Het warm worden van de kneep tijdens het bedrijf van een radiobuis, gaf daardoor soms aanleiding tot electrolyse van het glas, tot lekken en tot springen van de buis. Met het invoeren van buizen met vele roosters zooals penthoden en vooral later bij het ontwikkelen van octoden en andere mengbuizen nam bovendien het aantal doorvoerdraden in één kneep sterk toe. Daar vooral tusschen kathode en stuurrooster de isolatie zeer groot en de capaciteit C_{ag} tusschen anode en stuurrooster zeer klein moest zijn, om koppeling van de anode- en de roosterkring te vermijden, werd de toevoerdraad van het stuurrooster naar de bovenkant van de buis verlegd. Deze maatregel was wel zeer doeltreffend, doch voor het toepassen der buizen in een apparaat zou het toch de voorkeur verdiend hebben alle toevoeren aan één zijde van de buis aan te brengen.

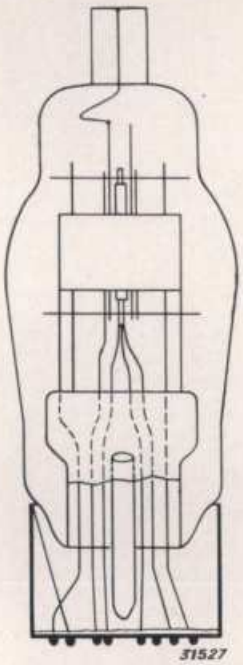

Fig. 1. Radiobuis met „kneep" constructie. Door de glazen „kneep" loopen zes draden (gestippeld), de aansluiting voor het stuurrooster is naar boven uitgevoerd. De zes draden loopen over een groote afstand evenwijdig en de lengten waarover ze door het glas loopen zijn groot. De aansluiting van de buis op de huls en de bescherming van het pompbuisje zijn in de teekening weergegeven. In deze nieuwere uitvoering van een radiobuis met kneepconstructie is reeds zooveel mogelijk gestreefd naar kleine afmetingen.

De toepassing van steeds kortere golflengten maakt het wenschelijk alle capaciteiten tusschen de verschillende electroden, de zelfinducties der diverse toeleidingen en hun wederzijdsche inducties klein te houden. Met een kneep-constructie komt men daarbij spoedig tot een grens, daar de toevoerdraden, die in de kneep en in de buis die de kneep draagt, over een vrij groote lengte en op korte afstand evenwijdig loopen (zie *fig. 1*), tamelijk groote capaciteiten en zelfinducties hebben. In een kneep zijn deze draden bovendien gescheiden door glas met een vrij groote diëlectriciteitsconstante waardoor deze capaciteiten verder toenemen. De breedte van de kneep werd weliswaar voortdurend grooter genomen, maar daar de toevoerdraden in zulk een kneep in één vlak liggen en de kneep de ballonwand niet mag raken en door de hals van de ballon moet gaan is de afstand der uiterste draden in de kneep, dikwijls niet veel grooter dan de helft van de diameter van de hals van de ballon.

Het is echter niet alleen wenschelijk, dat de capaciteiten tusschen de electroden van een buis klein zijn, maar ze moeten ook zoo goed mogelijk onveranderlijk zijn. Na het inschakelen van een radiotoestel neemt de temperatuur van de radiobuizen geleidelijk toe. De capaciteiten tusschen de electroden zullen dus alleen voldoende constant zijn, indien de temperatuurcoëfficient der in de buis aanwezige diëlectrica laag is. Aan deze eisch voldoet het glas van de kneep nu wel redelijk, maar het persmateriaal van de huls veel minder. Het gevolg daarvan is, dat de resonantiefrequenties van de afgestemde kringen na het inschakelen in zekere mate verloopen.

Het is verder gewenscht, dat voor verschillende buizen van één type de waarde der capaciteiten onderling zeer weinig verschilt, zoodat bij uitwisselen van een buis tegen een andere het toestel niet ontregeld raakt.

De plaatsing der steundraden in één vlak, evenwijdig aan het platgedrukte deel van de kneep, is ook in mechanisch opzicht wel voor verbetering vatbaar. Het binnenstel van de radiobuis, dus de roosters en de anode, wordt door lasschen op deze kneep gemonteerd en de stevigheid van zulk een constructie is daardoor voor schokken loodrecht op het vlak van de kneep te gering. Daarom steunt men dikwijls het binnenstel van de buis tegen de bovenhelft van de ballonwand door micaplaatjes.

Deze en dergelijke overwegingen hebben er toe geleid, dat men uit ging zien naar een andere opbouw dan de van ouds gebruikelijke. Wij willen hier een door Philips uitgewerkte nieuwe constructie en de daarmede bereikte resultaten bespreken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Beschrijving van de nieuwe constructie

Een buis in de nieuwe constructie bestaat in hoofdzaak uit een ronde bodem van glas, waarop het binnenstel gemonteerd is en een cylindrische ballon eveneens van glas, die langs een rand met deze bodem wordt versmolten. Deze beide deelen zijn in *fig. 2* afgebeeld. De grondplaat wordt *in zijn geheel uit glas geperst*. Dit persen van glas is een werkwijze, die ook machinaal zeer goed is uit te voeren.

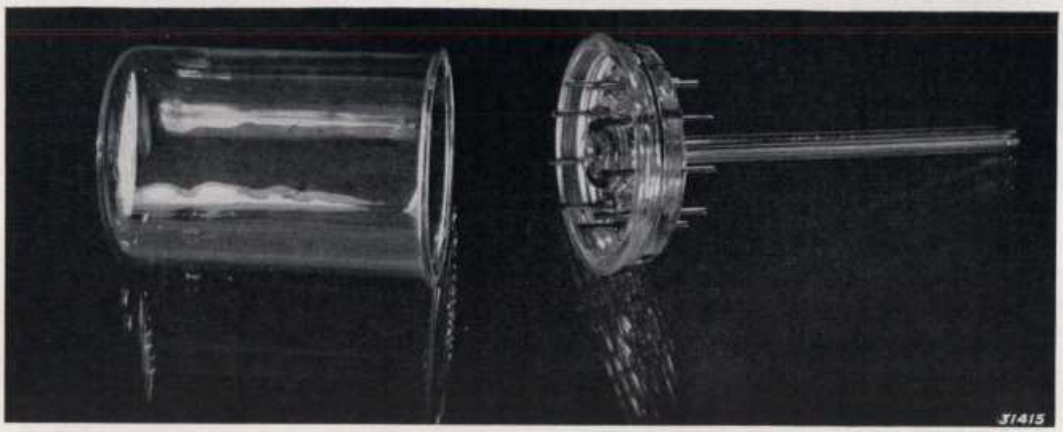

Fig. 2. Foto van de ballon en de ronde bodem uit geperst glas, die samen langs de rand versmolten worden. De bodem is op de plaats van de aansmelting van de pompbuis naar binnen ingestulpt. De in het glas geperste chroomijzeren pennen zijn goed zichtbaar. Tegen de buitenzijde van deze pennen maken de contacten van de buishouder contact. Aan de binnenzijde wordt op de pennen het stel gemonteerd (zie fig. 4).

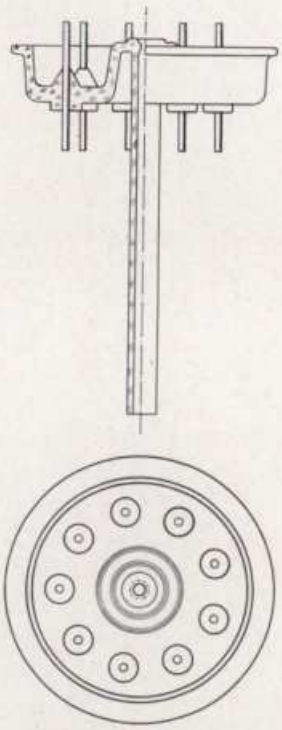

Fig. 3. Detailteekening van de geperste ronde glazen bodem met pompbuis en doorvoerpennen van chroomijzer. Voor het aanzetten van de pompbuis is de bodem ingestulpt. De lengte, waarover de draden door het glas loopen, is aanzienlijk korter dan bij een „kneep".

Gelijktijdig met het persen van de grondplaat gelukte het de doorvoerpennen van chroomijzer door het persstuk luchtdicht te doen omsluiten. Het bleek daarbij mogelijk de dikte der doorvoerdraden, die zonder gevaar voor lekken of springen van het glas ingeperst kunnen worden, zoo groot te kiezen, dat ze zonder meer als contactpennen dienst kunnen doen. De uitvoering van de buishouder dient voor een goed contact natuurlijk aangepast te worden aan de diameter van deze chroomijzeren ingeperste contactpennen.

In dit persstuk zijn de chroomijzeren doorvoerpennen op een cirkel met een vrij groote diameter (21 mm) geplaatst. Daardoor wordt hun onderlinge afstand groot (bij inpersen van 9 pennen 7 mm), waardoor een zeer goede isolatie is verzekerd. In het midden van deze cirkel wordt aan het persstuk een pompbuisje gesmolten; daartoe is de geperste glazen bodem op deze plaats naar binnen ingestulpt (*fig. 3*). Dientengevolge wordt, zelfs bij een geringe afstand van de afsmeltplaats van de pompbuis tot aan de glazen bodem, de totale lengte van het afgesmolten pompbuisje toch niet zoo klein, dat bij het afsmelten het glas op de verbindingsplaats van pompbuisje en instulping gaat springen.

Op de invoerpennen staat het binnenwerk van de buis gemonteerd (*fig. 4*), stevig en op breede basis, met een ruime afstand tusschen de verschillende draden. Alle doorvoerleidingen, ook die van het stuurrooster zijn daarbij door de glazen bodem naar buiten gevoerd. Hoeveel korter bij deze constructie de lengte der toevoerdraden tot aan de electroden wordt, blijkt uit *fig. 5*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

De zeer kleine waarde van de anode-roostercapaciteit C_{ag} is verkregen door op de grondplaat voor het rooster en de anode twee doorvoerpennen te kiezen, die ver van elkaar zijn verwijderd. Bovendien zijn verschillende electroden tegen elkaar afgeschermd, door verticale schermpjes, die binnen de buis op de grondplaat zijn geplaatst. Daardoor ontstaan enkele van elkaar gescheiden sectoren, waardoor verschillende toevoerdraden zonder elkaar te kunnen beïnvloeden naar binnen zijn gevoerd. In fig. 4 zijn deze tamelijk goed zichtbaar. Tenslotte wordt de afscherming volledig gemaakt door het aanbrengen van een metalen afschermdop, die verderop nog nader beschreven wordt.

Over het binnenstel wordt na de montage de glazen ballon geschoven en met de grondplaat langs een rand versmolten. Het pompen van de buis, het gasvrij maken van de metaaldeelen en het verbeteren van het vacuum door verdamping van een gasbindend metaal geschiedt op de gewone wijze. Na het afsmelten van de pompbuis is de buis nu feitelijk gereed, maar dient nog afgewerkt te worden. Een gekitte huls uit persmateriaal met contactpennen is daartoe bij deze constructie overbodig, daar, zooals wij zagen, de chroomijzeren pennen voor deze contacten kunnen dienen. Noodig is echter een bescherming van het afgesmolten pompbuisje, dat anders door stooten gemakkelijk zou kunnen afbreken. Tegen de onderzijde van de buis wordt daartoe een vlakke grondplaat uit metaal met een beschermingsdop bevestigd. De doorvoeren steken door openingen in deze plaat.

Fig. 4. Foto van de gepompte en afgesmolten buis. Juist boven de rand ,waarlangs bodem en ballon versmolten zijn, ziet men de beide loodrecht op elkaar staande schermplaten die o.a. rooster- en anode-toevoerdraden van elkaar scheiden, waardoor het mogelijk is de anode-rooster-capaciteit C_{ag} klein te houden. De lengte van de afsmeltplaats van de pompbuis tot aan de grondplaat is kort. De zwarte vlek boven in de ballon is het gasbindende metaal.

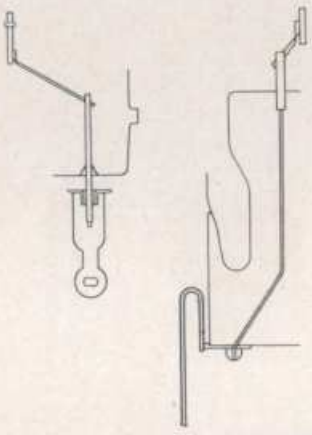

Fig. 5. Detailteekeningen van de lengte van de aansluitdraad vanaf de kathode tot aan de contactlip van de buishouder bij de nieuwe constructie (links) en bij de kneepconstructie (rechts).

In haar midden draagt de grondplaat een beschermingsdop, waarin het pompbuisje is opgeborgen (*fig. 6*). Behalve bescherming van het pompbuisje en de reeds genoemde afscherming van anode- en roostertoevoer vervult dit busje tevens een andere rol. Voor het plaatsen van de radiobuis in een passende buishouder, waarin de pennen contact maken, is slechts één onveranderlijke en bepaalde stand van buis en houder ten opzichte van elkaar toelaatbaar. Om deze te bereiken is het genoemde dopje van een zoeknok voorzien, die past in een gleuf van de houder. Bij ver genoeg indrukken van de dop in de buishouder zet deze nok zichzelf vast. Dit kan op tweeërlei wijze gedaan worden: Na het indrukken van de buis wordt deze over een kleine hoek gedraaid; de bovenrand van de zoeknok wordt dan door de onderkant van de grondplaat van de buishouder vastgehouden, zoodat de buis niet weer naar boven geduwd kan worden. Bij deze draaiïng worden de contactpennen in de contactveeren van de buishouder gedrukt en wordt een goed contact verkregen. Of men gebruikt voor het vastzetten de ringvormige uitholling op het einde van de metalen beschermingsdop, die men met een passende grendeling in de lamphouder omsluit.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

De afscherming van het binnenstel van de buis tegen inductieve of capacitieve storingen van buiten kan op verschillende wijze geschieden. We willen hier niet nader op ingaan, maar volstaan met er op te wijzen, dat aan de onde zijde de metaalplaat voldoende voor afscherming zorgt.

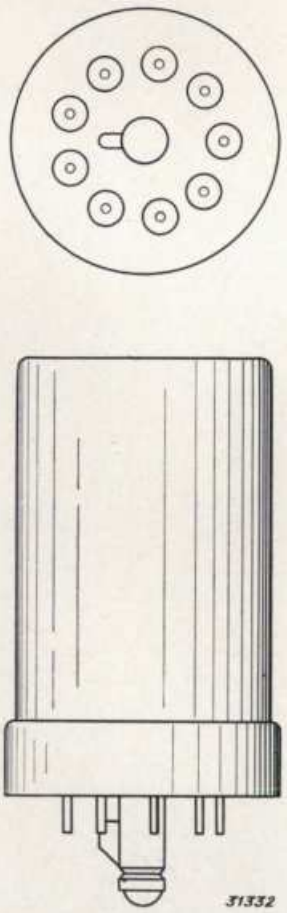

Fig. 6. Schematische teekening van de gemonteerde buis met beschermingsdop en zoeknok. Daar de beschermingsdop tusschen de pennen staat waaraan anode en rooster zijn verbonden, draagt ze bij tot de afscherming tusschen anode- en roosterkring.

Eigenschappen van de buis

De met deze constructie bereikte resultaten willen we nu punt voor punt nader bespreken.

Temperaturen van het glas bij de doorvoerdraad

Bij kneepconstructies bereikt de kneep temperaturen, die in ongunstige gevallen 200 °C of zelfs meer bedragen. De nieuwe constructie brengt de temperatuur van de doorvoering tot 90 °C terug. Daar het geleidingsvermogen van het glas exponentieel met de temperatuur verandert was een betere isolatie en minder kans op electrolyse van het glas het gevolg. Ook werd de waarschijnlijkheid voor springen van het glas daardoor kleiner.

Verandering van de capaciteiten tusschen de electroden tengevolge van de temperatuur

De capaciteit tusschen twee contactpennen in een huls voor radiobuizen, zooals die in de oudere constructievorm noodig is, bedraagt ongeveer 0,3 $\mu\mu$F. Gedurende het opwarmen is de temperatuurstijging van de huls ongeveer 10 °C. Daar voor kunstharsen de temperatuurcoëfficient van de diëlectrische constante ongeveer $50 \cdot 10^{-4}$ per graad bedraagt, verandert de capaciteit dan 0,015 $\mu\mu$F. Deze capaciteitsverandering geeft in een trillingskring op 13 m golflengte en met een afstemcapaciteit van 50 $\mu\mu$F een frequentieverloop van 3,4 kilohertz. Nog sterker dan deze verandering is, tijdens het warm worden, de wijziging die een capaciteit tusschen twee doorvoerdraden in een glaskneep ondergaat. De temperatuurcoëfficient van de diëlectriciteitsconstante voor glas is $5 \cdot 10^{-4}$ per graad en dus lager dan voor kunsthars. De temperatuursverhooging is hier echter, zooals we zagen, grooter, nl. gemiddeld 150 °C. De capaciteit tusschen de doorvoerdraden is in koude toestand 1—1,5 $\mu\mu$F en de verandering door de opwarming zal dus ongeveer 0,09 $\mu\mu$F bedragen. Hierdoor kan onder dezelfde omstandigheden als boven een frequentieverandering van 20 kilohertz ontstaan, waardoor de ontvangst merkbaar gestoord wordt.

Onder deze omstandigheden is het weglaten van de huls en het laag houden van de temperatuur der doorvoerplaatsen zelf, die met de nieuwe constructie mogelijk waren, een voordeel. Gevonden werd dan ook, dat de wijziging in de frequentie bij de nieuwe constructie op 20 m golflengte en een afstemcapaciteit van 75 $\mu\mu$F bij een kamertemperatuur van 25 °C niet meer dan 2,7 kilohertz bedroeg, terwijl ze bij eenzelfde buis met kneepconstructie 4,4 kilohertz bereikte.

Toleranties in de capaciteiten

Bij het verwisselen van radiobuizen tengevolge van defect worden, moet de nieuwe buis tusschen de verschillende electroden dezelfde capaciteiten hebben als de oude. Door trimmers worden de toestellen op de capaciteiten van een willekeurig stel buizen afgeregeld en de waarden van de capaciteiten in verschillende radiobuizen van eenzelfde type mogen dus slechts geringe toleranties hebben. Voor de radiobuizen met kneepconstructie bedroegen deze voor de verschillende capaciteiten, met uitzondering van die tusschen anode en stuurrooster welke een veel kleinere waarde heeft, nog ongeveer $\pm$ 0,6 $\mu\mu$F. In de nieuwe uitvoering daarentegen slechts ongeveer $\pm$ 0,2 $\mu\mu$F.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Capaciteit tusschen stuurrooster en anode

In schermroosterbuizen is het zooals reeds gezegd noodzakelijk, ten einde een terugwerking van de anodekring op de roosterkring te vermijden, dat de capaciteit tusschen anode en stuurrooster zeer klein is. Daarom wordt in vele buisconstructies het rooster naar de bovenzijde van de buis uitgevoerd en worden in de buis de rooster- en de anodekring van elkaar afgeschermd. Zoodoende gelukt het deze capaciteit tot 0,002 $\mu\mu$F te verminderen. Dit punt eischte in de nieuwe constructie bijzondere voorzorgen, omdat de anode- en roosteruitvoering nu aan dezelfde zijde liggen, daar beide door de grondplaat loopen. Door de reeds genoemde maatregelen bleek het mogelijk, bij de beschreven geheel glazen constructie ook waarden van 0,002 tot 0,003 $\mu\mu$F, zoo noodig nog minder, te bereiken.

Eigenschappen bij het werken met korte golflengte

Tengevolge van de verkorting van de invoerdraden en de plaatsing ervan op grootere afstanden dan in buizen met kneep-constructie was te verwachten, dat voor het werken met zeer korte golven, bijv. 5 m, de nieuwe constructie gunstiger zou blijken dan die met een kneep. Inderdaad bleken zoowel de ingangs- als de uitgangsweerstanden der buis in de nieuwe constructie waarden te hebben, die bij het werken met zeer kleine golflengten aan de geheel glazen buis voordeelen geeft boven buizen met kneepconstructie.

De volgende tabel verschaft in dit verschil een nader inzicht. Daar de ingangsweerstand van een buis in de vroegere constructievorm steeds vijf tot tienmaal kleiner was dan de uitgangsweerstand, beperkte het bedrag van de ingangsweerstand de waarde, die men bereiken kon voor de impedantie van de koppelkring tusschen twee buizen. In de tabel zijn nu voor twee golflengten en wel voor drie en tien meter voor een zelfde type EF9, in de oude en in de nieuwe uitvoeringsvorm, waarden van de ingangsweerstand in koude en in bedrijfstoestand gegeven. De buis in de oude constructievorm was daarbij voorzien van een P-huls (zie fig. 1).

Tabel

Golflengte	Koude weerstand (10^3 ohm)		Weerstand in bedrijf (10^3 ohm)	
	oude constr.	nieuwe constr.	oude constr.	nieuwe constr.
3 m	25	30	2	5
10 m	380	460	26	55

In de bedrijfstoestand, waarbij de buis dus warm is, is de ingangsweerstand van de nieuwe uitvoeringsvorm ruim tweemaal zoo groot als bij de oude constructie. De impedantie van de koppelkring tusschen twee buizen kan daardoor vergroot worden en een grootere winst per trap van de versterker is mogelijk.

Men ziet uit de opgegeven waarden, dat bij grootere golflengten de verschillen kleiner worden. In velerlei opzichten spelen dan echter de andere genoemde voordeelen nog steeds een rol.

Bewerkt door P. G. CATH.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

SYNTHETISCH GELUID

door J. F. SCHOUTEN. 534.42

Er wordt een apparatuur beschreven, waarmede synthetisch geluid kan worden verkregen, dwz. klanken met voorgeschreven periodieke trillingsvorm. De eigenschappen van de apparatuur worden uitvoerig behandeld. De apparatuur is toegepast voor het onderzoek van verschillende physiologisch-acoustische vraagstukken, zooals de invloed van de fase op de klankgewaarwording en de niet-lineaire vervorming in het oor.

In een vroeger nummer van dit tijdschrift [1]) beschreven wij een methode, waarmede een onmiddellijke analyse van een op een filmstrook geregistreerde klank in zijn verschillende sinusoïdale componenten wordt verkregen. Wij zullen thans een methode beschrijven, waarmede omgekeerd een klank van voorgeschreven periodieke trillingsvorm of, anders gezegd, een klank bestaande uit sinusoïdale componenten van voorgeschreven amplitude en fase, synthetisch kan worden verkregen. Deze methode veroorlooft een nadere studie van een aantal problemen, welke met het wezen der klankgewaarwording verband houden.

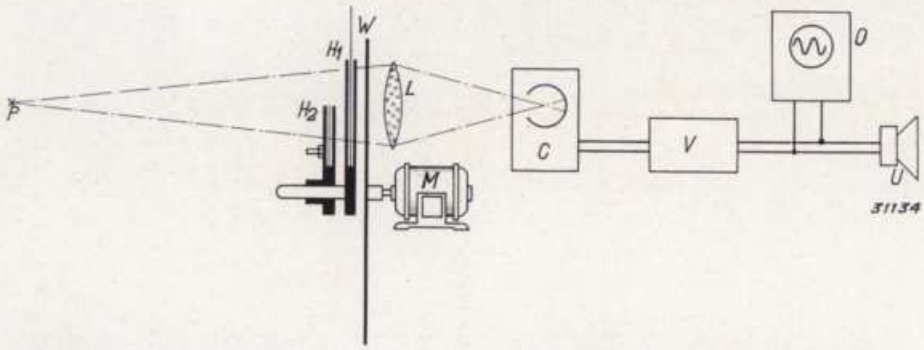

Fig. 1. Apparatuur voor het maken van synthetisch geluid. De in een mal uitgesneden trillingsvorm wordt in de houder H_1 geplaatst en door de op groote afstand opgestelde puntvormige lichtbron P homogeen verlicht. De motor M drijft de spletenschijf W aan. Het door deze doorgelaten licht wordt door de lens L op de fotocel C geconcentreerd. De fotostroomen worden via de versterker V en een luidspreker U in geluid omgezet. De trillingsvorm wordt met behulp van de kathodestraaloscillograaf O gecontroleerd. Voor speciale onderzoekingen is vóór de houder H_1 nog een tweede houder H_2 aangebracht, die een tweede mal kan bevatten en die gedraaid kan worden.

Opstelling voor het maken van synthetisch geluid

De opstelling berust op het principe, dat de sterkte van een lichtstroom als functie van de tijd gevarieerd wordt evenredig met de gewenschte trillingsvorm. De lichtstroom wordt opgevangen door een fotocel en via een versterker en een luidspreker in geluid omgezet. Dit principe wordt als volgt verwezenlijkt [2]). De gewenschte trillingsvorm wordt in een papieren mal, welke in de houder H_1 (*fig. 1* en *2*) kan worden geschoven, uitgesneden. Deze mal wordt homogeen belicht door een puntvormige lichtbron (een wolfraam-booglamp) op groote afstand. Achter de houder H_1 draait een aluminiumschijf, waarin 9 spleten met een breedte van 1 mm op een onderlinge afstand van 40 graden zijn aangebracht. Achter de schijf, die door een motor wordt aangedreven, bevindt zich een lens, welke de lichtbron in de fotocel afbeeldt. In de fotocel kan uitsluitend licht vallen, dat het uitgesneden gedeelte van de mal en één der spleten is gepasseerd. Draait de schijf, dan is op ieder moment de doorgelaten lichthoeveelheid evenredig met de hoogte van het uitgesneden gedeelte op de plaats, waarachter zich juist een spleet bevindt. Met het oog op de wijze van aftasten moet de gewenschte trillingsvorm geteekend worden in een poolcoördinatensysteem, waarvan het middelpunt zich op het verlengde van de as van de motor bevindt. Men teekent slechts één periode van de trillingsvorm, op zoodanige wijze, dat deze periode juist de afstand tusschen twee spleten, dus 40 graden, beslaat (*fig. 3*). Wanneer de schijf draait en een der spleten het uitgesneden gedeelte heeft doorloopen, doet de volgende spleet juist aan de andere zijde haar intrede.

Aangezien bij deze opstelling geen negatieve waarden van de lichtdoorlaatbaarheid kunnen worden verwezenlijkt, wordt bij alle ordinaten

[1]) J. F. Schouten, Lichtbuiging aan geluidsfilm, Philips techn. T. **3**, 303, 1938.

[2]) J. F. Schouten, Proc. Kon. Ned. Ak. Wet. **41**, 1086, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

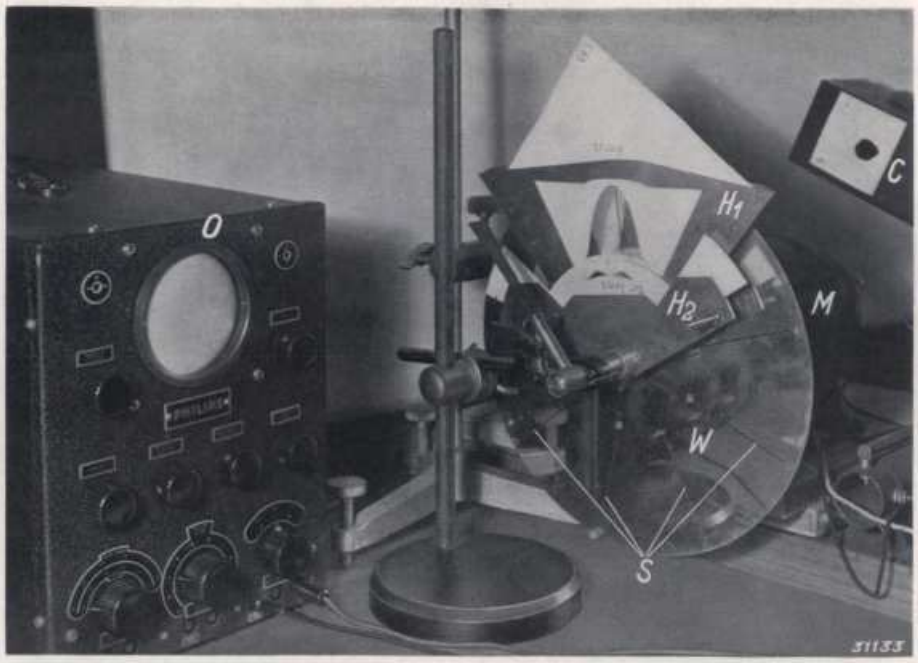

Fig. 2. Foto van de opstelling. S zijn de spleten in de spletenschijf W. In de houders H_1 en H_2 zijn de mallen van twee verschillende sinusvormige trillingen geplaatst.

van de weer te geven trillingsvorm een constant bedrag, dat gelijk is aan de grootste optredende negatieve waarde, opgeteld. In het geval van een zuiver sinusvormige trilling is dus de hoogte van het uitgesneden gedeelte niet $a \cos \varphi$, doch bijv. $a - a \cos \varphi$.

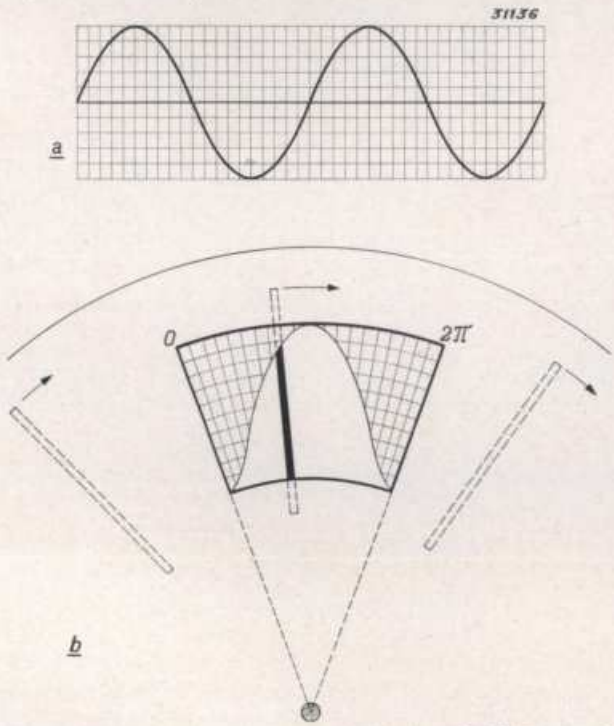

Fig. 3. Een trillingsvorm (a) (zuivere sinus) en de bijbehoorende mal (b). Deze is in poolcoördinaten uitgesneden, zoodanig, dat één periode juist de hoek tusschen twee spleten beslaat en dat aan de grootste negatieve ordinaat van de trillingsvorm de lichtdoorlating nul beantwoordt.

De toonhoogte kan worden ingesteld door regelen van het toerental van de motor. Dit toerental bedroeg gewoonlijk $22^2/_9$ omw/sec, waarmede een grondtoon van $9 \cdot 22^2/_9 = 200$ Hz werd verkregen.

Is de gewenschte trillingsvorm als som van een aantal bijv. sinusvormige componenten gegeven, dan kan men deze componenten optellen en de totale trillingsvorm uitsnijden. Dikwijls biedt het echter voordeel, deze componenten afzonderlijk boven elkaar uit te snijden. Is het gewenscht de onderlinge fase der componenten tijdens het bedrijf te kunnen wijzigen, dan snijdt men de componenten in gescheiden mallen uit. Hiervoor is vóór de houder H_1 nog een tweede kleinere houder H_2 aangebracht (zie fig. 1 en 2), die om een as in het verlengde van de motor-as kan worden gedraaid. In totaal is een gebied gelegen tusschen stralen van 65 en 130 mm in het poolcoördinatensysteem voor uitsnijden beschikbaar.

Een zeer aantrekkelijke eigenschap van de hier beschreven opstelling is, dat men onmiddellijk de invloed, welke veranderingen in de trillingsvorm op de klankgewaarwording uitoefenen, kan nagaan. Zoo kan men, wanneer meerdere componenten boven elkaar zijn uitgesneden, ieder dezer componenten door een eenvoudig beschaduwen van het betreffende deel van de mal tot verdwijnen brengen. Voorts kan men op dezelfde wijze door beschaduwen een bijv. sinusvormige trillingsvorm afplatten of van scherpe inkepingen voorzien en de invloed hiervan op de klank beluisteren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Invloed van de eindige breedte der spleten

In hoeverre is nu de verkregen uitwijking der luchtdeeltjes als functie van de tijd een getrouwe afbeelding van de uitgesneden trillingsvorm? De belangrijkste foutenbron van de apparatuur is de eindige breedte van de spleten in de draaiende schijf. Het laat zich aanzien, dat de hierdoor veroorzaakte fout daarin zal bestaan, dat fijnheden in de trillingsvorm van de orde van de breedte der spleten niet meer tot haar recht komen: het apparaat bezit, in optische terminologie, een beperkt oplossend vermogen. Wat beteekent dit uit acoustisch oogpunt? Bevat de mal alleen de n-de harmonische, met een amplitude a, dan zou de doorgelaten lichthoeveelheid evenredig moeten zijn met de ordinaat

$$a - a \cos n\varphi, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

waarbij de variabele φ tijdens het passeeren van één spleet van 0 tot 2π loopt. In het geval van een spleet, die een sector van de eindige hoek $\Delta\varphi = \Theta$ beslaat, is de doorgelaten lichthoeveelheid echter evenredig met de gemiddelde waarde van de ordinaat in deze sector; deze is

$$\frac{1}{\Theta} \int_{\varphi-\frac{\Theta}{2}}^{\varphi+\frac{\Theta}{2}} (a - a \cos n\varphi)\, d\varphi = a - \frac{2a}{n\Theta} \sin \frac{n\Theta}{2} \cos n\varphi \quad . \quad . \quad (2)$$

Hieruit blijkt, dat de n-de harmonische niet met haar ware amplitude wordt weergegeven, maar met een amplitude $f_n \cdot a$, wanneer

$$f_n = \frac{\sin \frac{n\Theta}{2}}{\frac{n\Theta}{2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Het is gemakkelijk in te zien, dat de factor f_n niet wordt beïnvloed door het al of niet aanwezig zijn van andere harmonischen in de mal. Iedere harmonische wordt dus met een karakteristieke verzwakking weergegeven: *De eindige breedte der spleten heeft hetzelfde effect als een vóór de versterker geschakeld electrisch filter, dat de hoogere harmonischen in allengs mindere mate doorgeeft.*

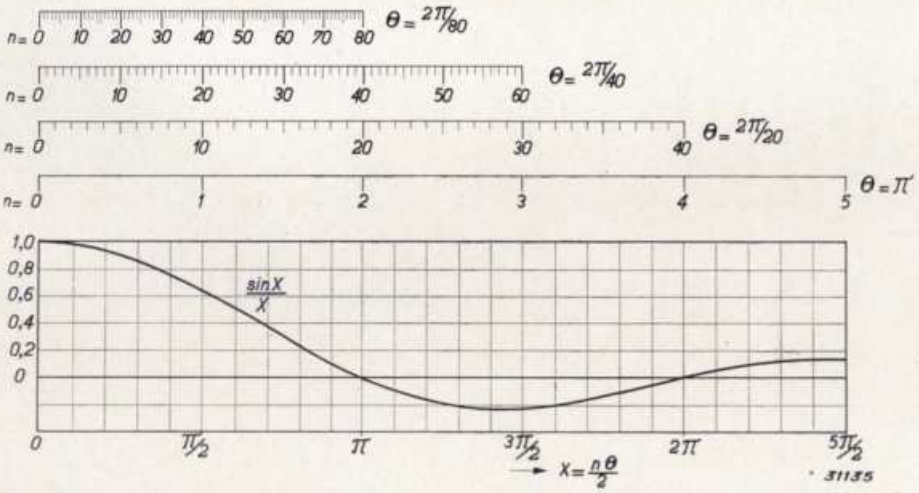

Fig. 4. Verloop van de functie $(\sin x)/x$, met de abscis $x = n\Theta/2$. De functie geeft de „frequentiekarakteristiek" van de spletenschijf. Alleen het eerste gedeelte $(0 < x < \pi)$ wordt practisch gebruikt. Uit de bijgevoegde n-schalen blijkt, dat des te meer harmonischen in vrijwel goede sterkte worden weergegeven, naarmate Θ (de spleetbreedte) kleiner is.

In *fig. 4* is het verloop van de functie (3) weergegeven. De factor f_n is 1 voor $n = 0$, voor hoogere waarden van n daalt hij geleidelijk en wordt nul, wanneer n de waarde $2\pi/\Theta$ bereikt. Men kan dit trouwens ook physisch onmiddellijk inzien. De periode van de n-de harmonische heeft namelijk de lengte $2\pi/n$. Is nu deze lengte juist gelijk aan de spleetbreedte, dan is de gemiddelde waarde van de doorlating juist nul, deze harmonische wordt dus niet door de spletenschijf doorgelaten. Voor hoogere waarden van n verloopt de functie f_n oscillatorisch; voor de practijk is echter alleen het eerste gedeelte van de kromme van belang.

De factoren f_n hebben nog een bijzondere beteekenis. Ze zijn namelijk gelijk aan de componenten van de ontwikkeling van de doorlating der spletenschijf in een Fourierreeks. Als functie van de hoek uitgezet, stelt deze doorlating een periodieke impuls voor, waarbij de verhouding van de breedte der impulsen tot de onderlinge afstand gelijk is aan $\Theta/2\pi$. De Fourier-coëfficienten van deze functie worden juist gegeven door formule (3).

Het is onmiddellijk duidelijk, dat een ideale afbeelding

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

bereikt wordt met een oneindig smalle spleetbreedte. Dit is in deze gedachtegang zoo te begrijpen, dat de factoren f_n dan, getuige formule (3), alle gelijk worden aan 1: het Fourierspectrum van een periodiek herhaalde, oneindig smalle impuls bevat alle harmonischen in gelijke sterkte [3]).

Een ander extreem geval treedt bijvoorbeeld op, wanneer de breedte der spleten gelijk wordt gemaakt aan die der tusschenruimten ($\theta = \pi$, de „vierkante sinus"). De factoren worden dan nul voor alle even waarden van n. Ongeacht de vorm van de mal zullen dan in het verkregen geluid uitsluitend de oneven harmonischen kunnen optreden.

De factoren f_n, die hierboven theoretisch zijn afgeleid, kunnen ook eenvoudig experimenteel bepaald worden. Daartoe wordt met een geschikt analyseerend instrument de sterkte der harmonischen in het verkregen synthetisch geluid gemeten, dus de gesynthetiseerde functie weer geanalyseerd, en vergeleken met de sterkte der componenten, waaruit de uitgesneden trillingsvorm is opgebouwd. De factor f_n is dan gelijk aan de verhouding van de „schijnbare" (gemeten) en de „ware" sterkte [4]) der n-de harmonische. Bij deze experimenteele bepaling worden tevens twee kleinere, soortgelijke effecten als die van de eindige spleetbreedte mede verdisconteerd, nl. een eventueele geringe afwijking van het vlakke verloop in de frequentiekarakteristiek van de versterker en de geringe onscherpte, welke bij de projectie der mal op de spletenschijf ontstaat, doordat de lichtbron niet ideaal puntvormig is. In *fig.* 5 zijn de resultaten van eenige metingen weergegeven. Deze werden verricht aan drie verschillende uitgesneden trillingsvormen: een periodiek herhaalde impuls met een breedte van 1/80 (*a*) resp. 1/40 (*b*) resp. 1/20 (*c*) periode. De zoo bepaalde factoren f_n stemmen onderling goed overeen (fig. 5*d*).

Voor het onderzoek van synthetisch geluid is de filterwerking van de spletenschijf, die door de factoren f_n wordt uitgedrukt, geheel te verwaarloozen, daar men zich hierbij vrijwel steeds tot de lagere harmonischen beperkt. In de zeldzame gevallen, waar veel harmonischen optreden, bijv. wanneer men de opstelling voor een Fourieranalyse wil gebruiken, kan men met de filterwerking op twee wijzen rekening houden. De eerste wijze bestaat daarin, dat men bij het uitsnijden van de trillingsvorm reeds van te voren de filterwerking in rekening brengt door de voorgeschreven sterkte van iedere harmonische door de betreffende f_n te deelen [5]). De harmonischen komen dan in het uitgangssignaal juist in de gewenschte sterkte te voorschijn. De tweede wijze bestaat daarin, dat men de frequentiekarakterisitiek van de versterker bij hoogere frequenties op zoodanige wijze laat oploopen, dat de filterwerking van de spletenschijf juist gecompenseerd wordt. Een dergelijke frequentiekarakteristiek is op betrekkelijk eenvoudige wijze te realiseeren.

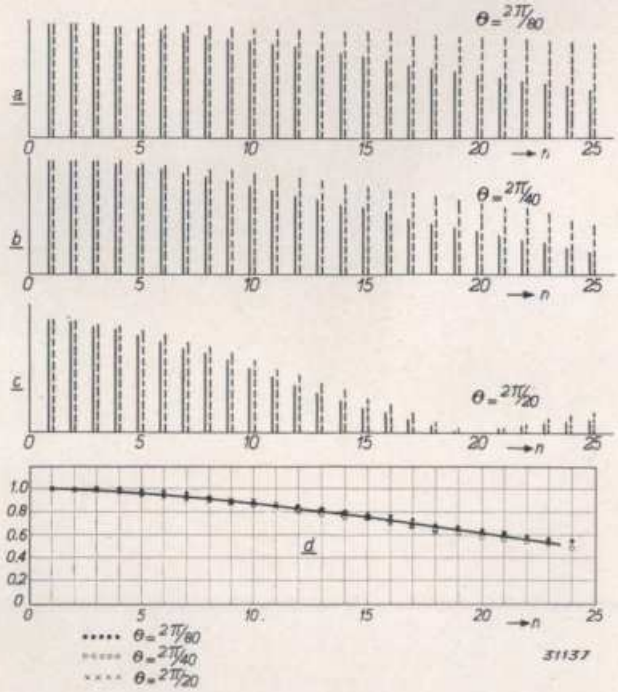

Fig. 5. Ware (gestippeld) en schijnbare (getrokken) sterkte der harmonischen gemeten voor drie verschillende trillingsvormen: periodiek herhaalde impuls met een breedte van *a*) 1/80 periode, *b*) 1/40 periode, *c*) 1/20 periode: *d*) de uit de spectra *a*-*c* afgeleide factoren f_n.

De verkregen trillingsvorm wordt gecontroleerd met een kathodestraaloscillograaf, welke op de klemmen van de luidspreker is aangesloten (fig. 1 en 2). In *fig.* 6 zijn een aantal trillingsvormen tezamen met de bijbehoorende mallen en de verkregen oscillogrammen weergegeven. Deze werden zonder gebruik te maken van eenige correctie verkregen.

De eenige duidelijke afwijking tusschen oscillogram en verlangde trillingsvorm vindt men bij de „vierkante sinus" (fig. 6*b*), waar de horizontale gedeelten ietwat schuin verloopen. Dit vindt zijn

[3]) Zie bijv. het in noot 1) aangehaalde artikel op pag. 307.

[4]) Deze benamingen zijn ontleend aan een hiermede ten nauwste verwant probleem uit de spectroscopie, waar men van ware en schijnbare intensiteitsverdeeling van spectraallijnen spreekt. H. C. Burger en P. H. van Cittert, Z. Physik **81**, 428, 1933.

[5]) Bij het gebruik der experimenteel gevonden factoren f_n moet bedacht worden, dat zij een gemiddelde waarde voorstellen. De spleten zijn nl. niet sectorvormig, zooals in onze beschouwingen werd ondersteld, maar hebben over hun geheele lengte dezelfde breedte, teneinde een lineair verband tusschen doorgelaten lichthoeveelheid en hoogte van het uitgesneden gedeelte van de mal te waarborgen. Dit brengt met zich mede, dat in het buitenste gedeelte van de schijf de verhouding van spleetbreedte tot spletenafstand ($\theta/2\pi$) kleiner, het oplossend vermogen dus grooter dan in het binnenste gedeelte is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

oorzaak in het feit, dat de gebruikte versterker de frequentie nul niet doorlaat. Wordt op de ingangsklemmen plotseling een gelijkspanning gezet, dan treedt aan de uitgangsklemmen eveneens plotseling een gelijkspanning op, welke echter geleidelijk tot nul terugvalt. Tegen deze verklaring zou men kunnen inbrengen, dat, zoodra men van het enkelvoudige inschakelverschijnsel tot het periodieke

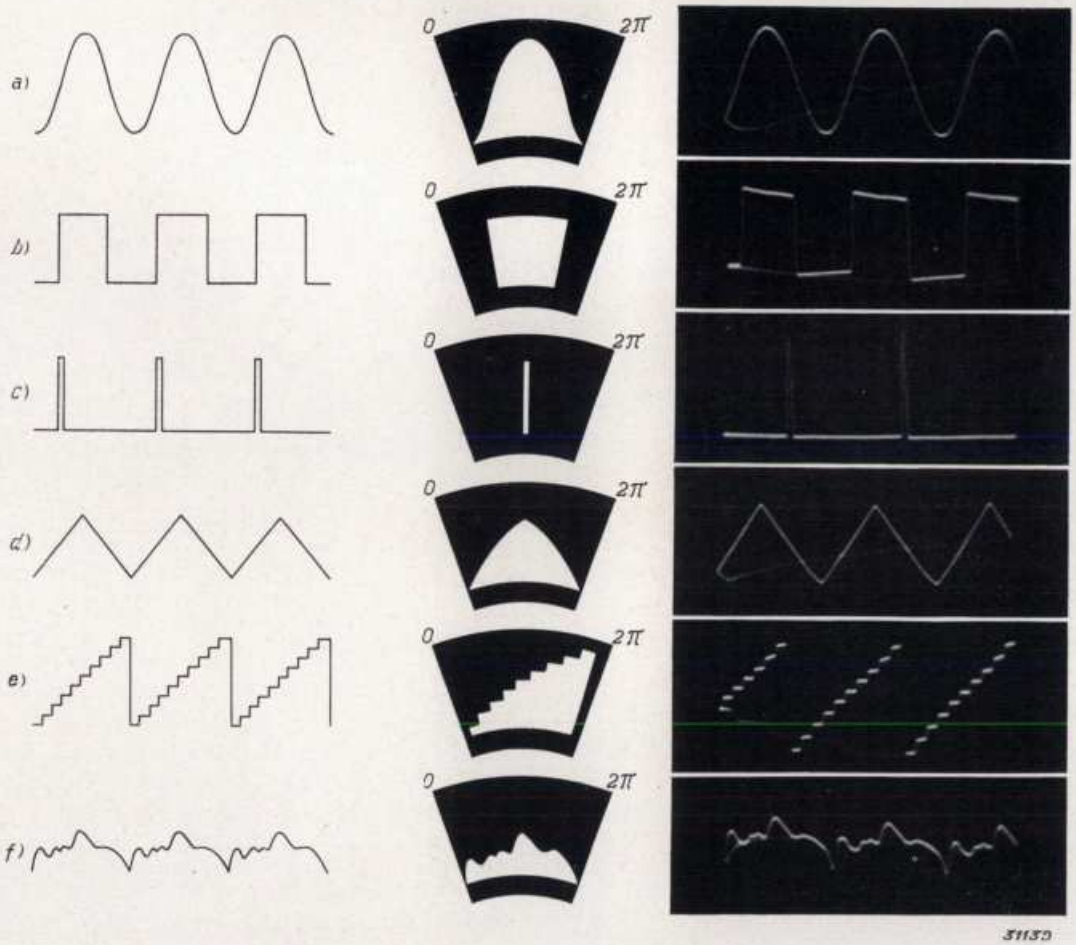

Fig. 6. Verschillende trillingsvormen met de bijbehoorende mallen en de verkregen oscillogrammen. De trillingsvorm *a*) is een zuivere sinus, *b*) een „vierkante sinus", *c*) een periodieke impuls, enz.

verschijnsel overgaat, de frequentie nul niet meer voorkomt. Men moet echter bedenken, dat het niet-doorgeven van de frequentie nul door de versterker met een kleine fasedraaiïng der lagere harmonischen gepaard gaat. Gaat men dit na, dan blijkt het effect van deze fasedraaiïng zich juist in een helling der horizontale gedeelten der trillingsvorm, zooals in fig. 6*b* is waargenomen, te uiten.

De invloed der fase van de verschillende componenten van een klank op de klankgewaarwording

Volgens een acoustische wet, welke door Ohm is geformuleerd, zullen wij in een samengesteld geluid een bepaalde zuivere toon kunnen gewaarworden, wanneer in de Fourier-analyse van de trillingsvorm een component van de betreffende frequentie voorkomt. Volgens een regel, die afkomstig is van Helmholtz, zal de klankgewaarwording verder uitsluitend afhangen van de relatieve sterkte, waarin de verschillende componenten voorkomen, en onafhankelijk zijn van de relatieve fase dezer componenten.

Van dit gedrag wordt op eenvoudige wijze rekenschap afgelegd door de onderstelling (die ook om anatomische redenen niet ongegrond schijnt), dat zich in het oor een groot aantal, op verschillende frequenties selectief afgestemde, resonatoren bevinden. Dit mechanisme verklaart namelijk in de eerste plaats het feit, dat het oor als het ware een Fourier-analyse van het geluid uitvoert, terwijl het verder de mogelijkheid openlaat, dat de prikkels, die van ieder der resonatoren naar de hersenen worden doorgegeven, uitsluitend van de sterkte en niet van de fase van de betreffende component afhangen, of althans, dat deze fase niet uiteindelijk tot bewustzijn komt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

De regel van Helmholtz is met behulp van de hierboven beschreven apparatuur op eenvoudige wijze te toetsen. Daartoe worden in de twee houders H_1 en H_2 de mallen van twee verschillende sinusoidale componenten geplaatst. Door de houder H_2 te draaien, kan men bij het luisteren naar het verkregen geluid de onderlinge fase der componenten willekeurig veranderen. Een invloed van de fase op de klankgewaarwording viel daarbij nimmer waar te nemen [6]).

naast de gewenschte trilling een periodieke impuls op, welke, zooals wij reeds uiteenzetten, uit een zeer groot aantal harmonischen bestaat. In de versterkertechniek is men gewend, de in een versterker optredende niet-lineaire vervorming van het uitgangssignaal te karakteriseeren door de vervormingsfactor

$$F = \frac{1}{a_1}\sqrt{a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + \dots} \quad . \quad . \quad (4)$$

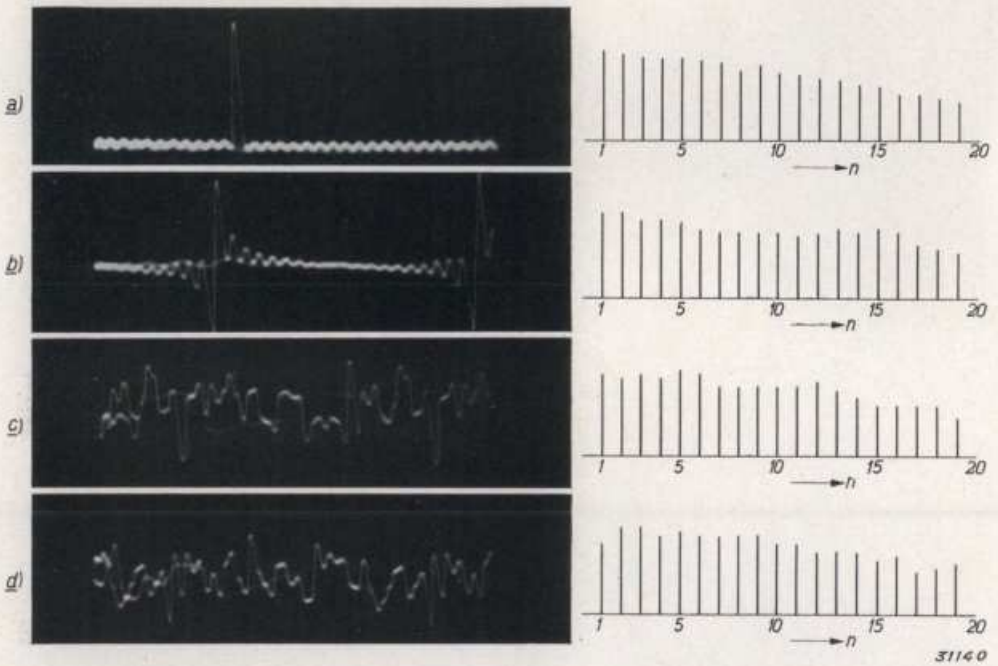

Fig. 7. Oscillogrammen en Fourier-spectra van vier verschillende trillingsvormen, die alle zijn opgebouwd uit dezelfde harmonischen cos $(n\varphi + \gamma_n)$ voor $n = 1$ tot 20. De vier trillingsvormen zijn voor het oor niet te onderscheiden.
a) $\gamma_n = 0$ voor alle n.
b) $\gamma_n = \pi/2$ voor alle n.
c) De 20 fasedraaiïngen $\gamma_n = 2\pi/20, 4\pi/20, \dots 2$ zijn willekeurig over de 20 harmonischen verdeeld, iedere fasedraaiïng komt echter slechts éénmaal voor.
d) De fasedraaiïngen γ_n zijn als veelvouden van $2\pi/40$ gekozen, waarbij een volkomen willekeurige cijferreeks als leidraad diende (in ons geval de reeks van decimalen van log 2).

Deze methode is practisch niet meer toe te passen voor fasedraaiïngen van een groot aantal componenten. Toch is het technisch en ook theoretisch van belang, na te gaan, of in extreme gevallen, bij trillingsvormen met een groot aantal componenten, de regel van Helmholtz blijft gelden. Zoo komt het voor, bijv. in de versterkertechniek bij het optreden van roosterstroomen, dat bij een zuiver sinusvormig ingangssignaal op een bepaald punt in iedere periode van het uitgangssignaal een scherp piekje verschijnt. Er treedt dus

Hierin stelt a_1 de amplitude in het uitgangssignaal van de aan de versterker toegevoerde frequentie voor, terwijl a_2, a_3, a_4 enz. de amplituden der gevormde hoogere harmonischen voorstellen. Men ziet, dat de fase der harmonischen niet in aanmerking is genomen. De grootheid F zal eerst dan een bruikbare maat voor de verandering van de klankgewaarwording kunnen zijn, wanneer de regel van Helmholtz ook voor een zeer groot aantal componenten juist bevonden is.

Wij hebben dit nagegaan voor het zooeven genoemde geval van de periodieke zeer smalle impuls en berekenden daartoe een viertal trillingsvormen, die uit de componenten cos $(n\varphi + \gamma_n)$ in vrijwel

[6]) Behoudens in één, zeer speciaal geval, waar we hieronder op terugkomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

gelijke sterkte voor $n = 1$ tot 20 waren samengesteld. Bij de eerste vorm werden alle $\gamma_n = 0$ genomen, waardoor in eerste benadering een periodiek herhaalde impuls ontstaat. In *fig. 7a* is het verkregen oscillogram van deze trillingsvorm weergegeven tezamen met het spectrum der harmonischen, welke in het verkregen geluid werden gemeten. De drie andere trillingsvormen, die uit dezelfde harmonischen werden opgebouwd, zijn in fig. 7*b-d* weergegeven en nader toegelicht.

Het bleek, dat deze vier zoo totaal verschillende trillingsvormen, wat de klankindruk betreft, volstrekt niet te onderscheiden waren.

De regel van Helmholtz is daarmede ook voor het extreme geval van een zeer groot aantal harmonischen juist bevonden. Men mag dus bij het bepalen der niet-lineaire vervorming volstaan met het meten van de sterkte van ieder der harmonischen, zonder daarbij op de onderlinge fase te letten.

De niet-lineaire vervorming in het oor

In het oor treedt niet-lineaire vervorming op. Deze vervorming uit zich daarin, dat, wanneer een zuivere toon van voldoende sterkte beluisterd wordt, in het oor hoogere harmonischen worden gevormd (de octaaf, de duodecime, enz.); wanneer twee tonen van verschillende frequentie tezamen worden beluisterd, worden nieuwe tonen gevormd met frequenties, die lineaire combinaties van de frequenties der beide beluisterde tonen (combinatietonen) zijn. De meest op de voorgrond tredende combinatietoon is de verschiltoon, welke dan ook het eerste ontdekt is. Men spreekt daarbij gewoonlijk van objectieve en subjectieve tonen, al naar gelang de waargenomen tonen wel of niet in het geluidsveld buiten het oor aanwezig zijn. Bij een enkele toon is het optreden der subjectieve harmonischen vrijwel uitsluitend te bemerken aan een geleidelijk toenemende scherpte van het klankkarakter bij grootere geluidssterkten.

Wanneer in het oor een tweede harmonische wordt gevormd (de subjectieve tweede harmonische), waardoor de daarop afgestemde resonator in trilling geraakt, moeten wij verwachten, dat, wanneer wij aan de physisch zuivere toon een zeker percentage tweede harmonische toevoegen (de objectieve tweede harmonische), het niet onverschillig zal zijn in welke fase dit geschiedt, in afwijking dus van de regel van Helmholtz. Afhankelijk van de fase der objectieve harmonische zal het namelijk mogelijk zijn, dat de, door de subjectieve harmonische veroorzaakte, trilling van de betreffende resonator versterkt dan wel verzwakt wordt. Men zou zelfs mogen verwachten, dat bij geschikt gekozen sterkte en fase van de objectieve harmonische een volkomen compensatie van de subjectieve harmonische optreedt.

Dit verschijnsel is met behulp van synthetisch geluid zeer eenvoudig na te gaan, door met twee mallen, resp. in de vaste en draaibare malhouder H_1 resp. H_2 de grondtoon en zijn tweede harmonische bij elkaar te voegen. Wordt bij een geluidssterkte van 106 phon (dit komt ongeveer overeen met het geluidsniveau van het geraas in een ketelmakerij) bij een toon van 200 Hz 8% tweede harmonische toegevoegd (juist dit geval is in fig. 2 weergegeven), dan wordt bij draaien van de malhouder H_2 een zeer duidelijke verandering van de klankgewaarwording gehoord: in een bepaalde stand van H_2 (fase A) wordt de klank door het toevoegen van de objectieve harmonische zuiverder en zwakker; in een stand, die een kwart periode van de grondtoon verschoven is (fase B), wordt de klank scherper en sterker.

Hier vinden we dus het schijnbaar paradoxale verschijnsel, dat een physisch onzuivere toon zuiverder klinkt dan een physisch zuivere, en dat een toon na het objectief toevoegen van een zekere energie een zwakkere geluidsindruk maakt.

Volgens het bovenstaande zijn deze verschijnselen onmiddellijk te begrijpen als een interferentie van de objectieve en de subjectieve harmonische, waarbij de trilling van de resonator van 400 Hz in het oor de eene keer (fase A) gecompenseerd, de andere keer (fase B) versterkt wordt. Een verdere toetsing van deze verklaring is mogelijk door met behulp van een tweede luidspreker een zuivere toon van bijv. 406 Hz op te wekken. Is in het oor een toon van 400 Hz aanwezig, dan zullen tusschen deze en die van 406 Hz zwevingen ontstaan. Men kan nu deze zwevingen gebruiken om te constateeren, of de boven beschreven compensatie werkelijk plaats vindt. Wanneer nl. de objectieve klank zoodanig is, dat in het oor geen toon van 400 Hz meer aanwezig is (fase A), moeten ook de zwevingen verdwijnen. Inderdaad werd dit fase-effect voor de zwevingen gevonden.

De mate van niet-lineaire vervorming in het oor, dus de sterkte van de subjectieve harmonische, hangt af van de amplitude, dwz. van de geluidssterkte van de grondtoon. Daar het fase-effect het meest geprononceerd is, wanneer objectieve en subjectieve harmonische dezelfde sterkte hebben, kan men de beschreven effecten op het klankkarakter, de sterkte-indruk en de zwevingen gebruiken als methode om de mate van niet-lineaire vervorming in het oor als functie van de geluids-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

sterkte te bepalen. In *fig. 8* zijn de resultaten van metingen volgens deze methode van de subjectieve tweede harmonische weergegeven [7]).

Hierboven is gezegd, dat de aanwezigheid van de subjectieve harmonischen zich in hoofdzaak als een zekere scherpte van de klank uit. Heeft men echter de objectieve harmonische op compensatie ingesteld en neemt men dan de objectieve harmonische weg, dan lukt het na eenige oefening om in de physisch zuivere toon de subjectieve tweede harmonische afzonderlijk tot bewustzijn te brengen. Na enkele seconden echter versmelt zij als het ware weer met de grondtoon en is niet dan na hernieuwd vergelijk wederom tot bewustzijn te brengen.

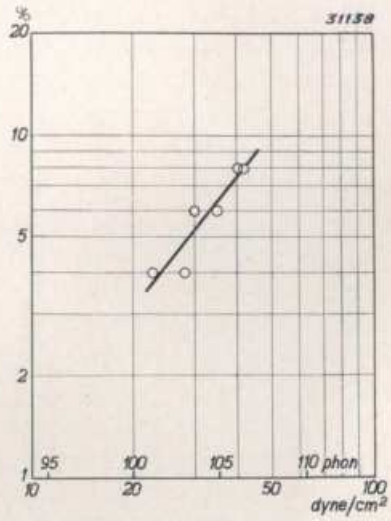

Fig. 8. Intensiteit van de subjectieve tweede harmonische in % van de intensiteit van de grondtoon, als functie van de geluidssterkte (geluidsdruk in dyne/cm² en intensiteitsniveau in phon).

[7]) De resultaten van de in dit laboratorium uitgevoerde metingen stemmen goed overeen met die van Chapin en Firestone (J. Acoust. Soc. Amer. **5**, 173, 1933) en van Trimmer en Firestone (J. Acoust. Soc. Amer. **9**, 24, 1937). Volgens een andere meetmethode verrichte metingen van Fletcher (J. Acoust. Soc. Amer. **1**, 311, 1929) en v. Békésy (Ann. Physik **20**, 809, 1934) leverden echter veel grootere percentages op.

HET „GOED VERLICHTE HUIS"

door L. C. KALFF. 628.972

Om de werking van verschillende verlichtingssystemen in woonruimten te kunnen demonstreeren, werd een modelwoning ontworpen, waarin overvloedig gebruik is gemaakt van moderne verlichtingsmethoden. De inrichting van het huis bestaat uit ongekleurde getypeerde meubelen. Hierdoor wordt het oog van de hoofdzaak, de verlichting, niet afgeleid en komen de eigenschappen van de verschillende wijzen van verlichting ten volle tot hun recht.

Het is bekend, dat in de laatste tientallen jaren de behoefte aan kunstlicht sterk is toegenomen, vooral op straat, in winkeletalages, in bedrijfsruimten enz. In het woonhuis is deze toeneming in mindere mate te bespeuren. Dit is op zichzelf begrijpelijk, omdat bijv. betere verkeersverlichting veiliger verkeer tengevolge heeft, betere werkverlichting de snelheid van het werk vergroot en de uitval vermindert, betere winkelverlichting de verkoop bevordert enz. In het woonhuis echter zijn de heilzame gevolgen van betere verlichting niet in geld uit te drukken en de nadeelige gevolgen van slechte verlichting voor de oogen zijn moeilijk te bewijzen. Wèl weet men zeker, dat een hooger stroomverbruik en dus grootere kosten een gevolg zullen zijn van een verbetering van de lichtinstallatie.

Bij de krachtige weerstand, die men op dit gebied dus te overwinnen heeft, komt nog een ernstige technische moeilijkheid. In werkplaatsen, kantoren en winkels is de werkverlichting de hoofdzaak en kan men zeer lichte wanden en plafonds gebruiken, ter vermijding van al te groote helderheidscontrasten in het gezichtsveld. Zulke helderheidscontrasten zijn met het oog op verblinding in des te mindere mate toelaatbaar naarmate het algemeene helderheidsniveau wordt opgevoerd. In woonhuis-interieurs wil men de betrekkelijk hooge verlichtingssterkten, welke voor werkverlichting gewenscht zijn, plaatselijk ook bereiken, doch daardoor mag de sfeer en de stemming van een interieur niet bedorven worden. Daartoe moet men een te groot algemeen helderheidsniveau en tevens te groote contrasten vermijden, hetgeen echter veel meer zorg vereischt en veel grootere moeilijkheden oplevert dan in de zakelijke en nuchtere omgeving van onze werkruimten.

Het is nu ondoenlijk bij de oneindig gevarieerde

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

woonruimten vaste voorschriften voor de inrichting der verlichting te geven. Wel staat ons reeds een zeer groot aantal vormen en toepassingen van verschillende lichtconstructies ten dienste, die men in allerlei variaties en combinaties voor de oplossing van deze problemen kan gebruiken. Om hiervan ten volle profijt te kunnen trekken is het nu gewenscht eenige experimenteer- en tentoonstellingsruimten ter beschikking te hebben, waarin men zooveel als mogelijk van bovengenoemde lichtconstructies in werking kan stellen. Als voorbeeld van een dergelijke tentoonstellingsruimte is in de Philips-demonstratiezalen een „goed verlicht huis" voor het publiek open gesteld.

Bij het ontwerp van een dergelijke tentoonstellingsruimte blijkt het moeilijk het interieur dusdanig te kiezen, dat voor iedere bezoeker of bezoekster een vergelijking met het eigen huis mogelijk is. De één zal bijv. het interieur te weelderig vinden en daaruit concludeeren, dat het gebruikte verlichtingssysteem voor zijn eigen ruimten niet in aanmerking zou komen. Een ander zal in een meubel of een kleedje, een kleur of een vorm zooveel stof voor critiek of bewondering vinden, dat hij geheel vergeet naar de verlichting te kijken.

Om deze afleiding van de hoofdzaak te vermijden, werd getracht een zoo „onpersoonlijk" mogelijk interieur te maken, zonder gebruik van bestaande meubelen, die de een bewonderen en de ander verafschuwen kan, zonder toepassing van kleuren, meubelstijlen en decoratievormen, zelfs zonder schilderijen of prenten, die weer de aandacht van de hoofdzaak, de verlichting, zouden kunnen afleiden. Daartoe zijn wij als volgt te werk gegaan:

De inrichting is geheel ontworpen met getypeerde meubelen, dwz. deze zijn teruggebracht tot hun meest eenvoudige vorm. Een stoel heeft bijv. een rechthoekige rug en zitting met eronder de pooten, eveneens rechthoekig; de tafel is een dik blad op vier rechte pooten. De kleuren zijn alle vervangen door verschillende nuances grijs en wit. De normale verschillen van lichtreflectie van verschillende materialen en oppervlakken zijn dus omgezet in verschillen van lichter en donkerder tinten grijs. Vijf verschillende tinten werden toegepast met reflectiecoëfficienten van ongeveer 75, 60, 45, 25, 10%. Een bureau, dat in werkelijkheid de kleur van eikenhout zou vertoonen, werd met een 25% reflecteerend grijs geschilderd, muren kregen een reflectiecoëfficient van 60%, meubels kregen verschillende tinten, bijv. met reflectiecoëfficienten van 45 en 25%, enz.

Het effect was verrassend, de interieurs deden geenszins vreemd of onaangenaam aan, vele bezoekers meenen zelfs, dat een dergelijk interieur

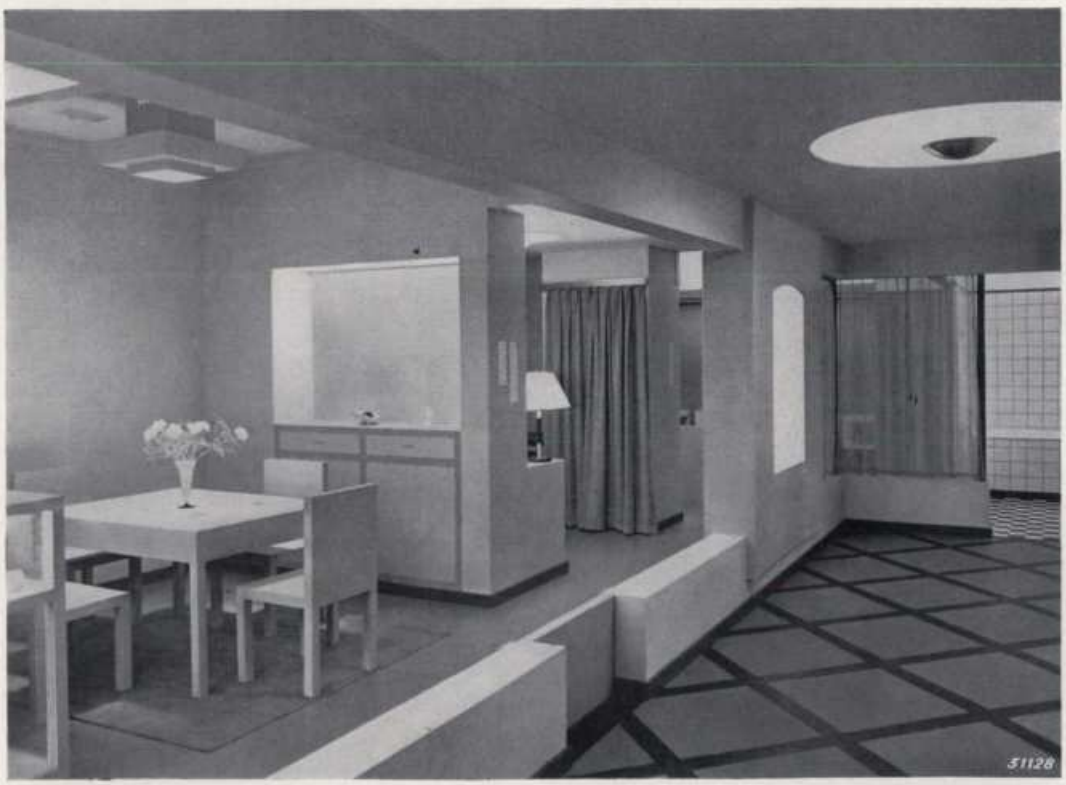

Fig. 1. Hall van het „Goed verlichte huis". Links de eetkamer en de zit-slaapkamer. Op de achtergrond de badkamer. De hall zelf is verlicht door een koepel en een nis in het linker wandvlak.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

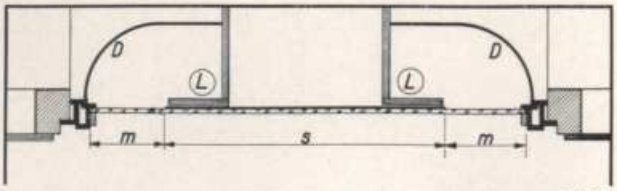

Fig. 2. Spiegel met ingebouwde verlichting. *s* verspiegeld gedeelte van het glas, *m* gematteerd gedeelte, *L* „Spiralta" lampen 15 Dlm, onderlinge afstand 23 cm, *D* diffuus reflecteerende witte vlakken.

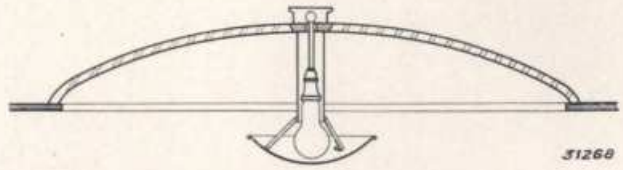

Fig. 4. Doorsnede van het koepeltje in de gang. Het koepeltje, dat een diameter van 1,20 m heeft, is van te voren van stuc gemaakt en daarna in het plafond aangebracht. Het schaaltje onder de lamp (100 Dlm) is van binnen wit gespoten en van buiten mat vernikkeld. Het past met een bajonetsluiting op drie beugeltjes, zoodat het gemakkelijk kan worden afgenomen voor het verwisselen van de lamp.

ook in de practijk zou voldoen. Maar vooral was het aangenaam te kunnen constateeren, dat het effect van de verschillende verlichtingssystemen geheel tot zijn recht komt en dat het een van de hoofdzaken is voor de indruk, die het interieur verwekt. Hierdoor kan de beschouwer het practische en decoratieve resultaat van een verlichting zeer duidelijk beoordeelen.

Fig. 3. Hall van het „Goed verlichte huis", gezien vanuit de badkamer. Op de achtergrond de keuken. De treden van de trap zijn verlicht door lampen die in de balustrade zijn gemonteerd. De poppen in het „goed verlichte huis" zijn ontworpen door George Pâl.

Wij zullen thans verschillende van de interieurs beschrijven en daarbij nader ingaan op enkele algemeene gezichtspunten, die bij het ontwerpen van de verlichting van belang zijn geweest.

Op iedere plaats in het huis werd getracht de hoeveelheid en de soort licht aan te brengen, die daar noodig zou kunnen zijn. Natuurlijk ontbreekt daarvoor bij de voordeur niet een goede stoepverlichting, al of niet gecombineerd met een verlicht huisnummer. Tegenover de voordeur is een van twee zijden verlichte nis gemaakt (zie *fig. 1*), die in de kleine hal zonder ramen als het ware een kunstraam vormt.

Rechts naast de voordeur, in fig. 1 niet zichtbaar, is een spiegel in de wand gebouwd, waarvan de verlichting in *fig. 2* is weergegeven. Van een groote glasruit is in het midden een gedeelte verspiegeld; de overblijvende strooken ter weerszijden zijn gematteerd. Achter deze strooken bevinden zich gebogen vlakken, die elk door een rij lampen worden verlicht. Voor de spiegel wordt men dus indirect en vanuit alle richtingen verlicht, zoodat geen schaduwen de zichtbaarheid kunnen bederven.

Alle verlichtingen kunnen door den bezoeker met behulp van een reeks van schakelaars in- en uitgeschakeld worden. Naast iedere schakelaar vindt men een korte beschrijving van de daarmee in werking gestelde installatie, zooals duidelijk op *fig. 3* is te zien.

Als voorbeeld van de aardige effecten, die men bereiken kan, wanneer reeds bij de bouw van het huis met de kunstverlichting rekening gehouden kan worden, noemen wij het kleine stuckoepeltje (fig. 3 en *fig. 4*), dat een indirecte verlichting geeft voor een deel van de gang, en de in de trapbalustrade ingebouwde trapverlichting, die alleen maar licht geeft op de traptreden. Ook in eenvoudiger huizen zijn dergelijke lichttoepassingen zonder groote kosten aan te brengen, en wij meenen, dat deze de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 5. Woonkamer. Algemeene halfindirecte verlichting door middenornament van perkament, drie lampen van 100 Dlm. Plaatselijke verlichting voor lezen en handwerken door een staande lamp „Philihome" WH 50 met een gloeilamp van 200 Dlm (150 W). Verlichtingssterkte op het boek 300 lux. Een wandverlichting achter de zitbank vermindert de contrasten in de kamer.

Fig. 6. Dezelfde woonkamer als fig. 5, anders verlicht. Algemeene, geheel indirecte verlichting door middel van een koof boven de haard. In de koof zijn negen „Cornalux"-lampen van 60 W ingebouwd. De „Cornalux" is een half verspiegelde lamp van bijzondere vorm, die het mogelijk maakt het licht zeer gelijkmatig over het plafond te verdeelen en indirecte verlichtingen te construeeren met een zeer hoog rendement. Halfindirecte verlichting door middel van een koof boven het gordijn, voorzien van gematteerd, gefigureerd glas. Bijverlichting achter de zitbank, boven de deur en in de nis boven de haard.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

aantrekkelijkheid van deze huizen belangrijk zouden kunnen verhoogen.

Op de achtergrond van fig. 1 en 3 ziet men resp. de badkamer en de keuken, die wij in deze bespreking terzijde willen laten.

Rechts naast de keuken bevindt zich de woonkamer, die in *fig. 5* is weergegeven. Een centraal ornament voor halfindirecte verlichting, zooals in deze kamer is toegepast, kan in een dergelijke ruimte met bescheiden afmetingen een goede algemeene verlichting geven. Waar men hier echter meestal met het gezicht naar het lichtpunt toegekeerd zal zitten, is dit voor het lezen of handwerken in de meeste gevallen onvoldoende. Men moet nl. 150 of 200 lux op het handwerk of boek hebben en het middenlichtpunt zou, om dit te bereiken, zoo groot en lichtsterk moeten zijn, dat dit een storende indruk zou maken.

Daarom is een plaatselijke bijverlichting aan te bevelen. In dit geval is bij een fauteuil een staande lamp geplaatst, die met het middenlicht samen 250 lux geeft op een boek, dat men, in de fauteuil zittende, in de handen houdt.

Wanneer men nu van het lezen opkijkt, dan zal het groote contrast tusschen de heldere vlakken van het boek en het ornament, en de betrekkelijk donkere vlakken van de veel minder sterk verlichte achterwand een eenigszins onprettige indruk maken. Het is dan ook opvallend, hoeveel de indruk van de kamer verbetert, als men bijv. de wandverlichting achter de zitbank aansteekt, of de gordijnverlichting, die achter een eenvoudige houten lijst met matglas in de bodem, boven het breede lichtgrijze fluweelen gordijn is aangebracht.

In sommige gevallen zijn in dergelijke kleine ruimten de omvangrijke volumes van de centrale lichtornamenten ernstige belemmeringen. Vooral overdag zijn deze, dan nuttelooze, groote voorwerpen hinderlijk. Ingebouwde nisjes of lichtpaneelen in meubels, lichtkoven en -bakken zijn veel kleiner en kunnen meestal onopvallend worden aangebracht.

Als voorbeeld hiervan kan in de woonkamer behalve het centrale lichtornament een andere algemeene verlichting ontstoken worden, en wel een indirecte, aangebracht in een lichtlijst boven de haard (zie *fig. 6*). Deze geeft een gemiddelde verlichtingssterkte van 90 lux. Ook bij deze algemeene verlichting zijn plaatselijke verlichtingen, bijv. van de nis bij de haard, van de boekenkast of van de theemeubels, zeer gewenscht.

Al deze verlichtingen, waarvan enkele constructies in *fig. 7* zijn aangeduid, zijn betrekkelijk eenvoudig te maken en zullen in vele gevallen niet

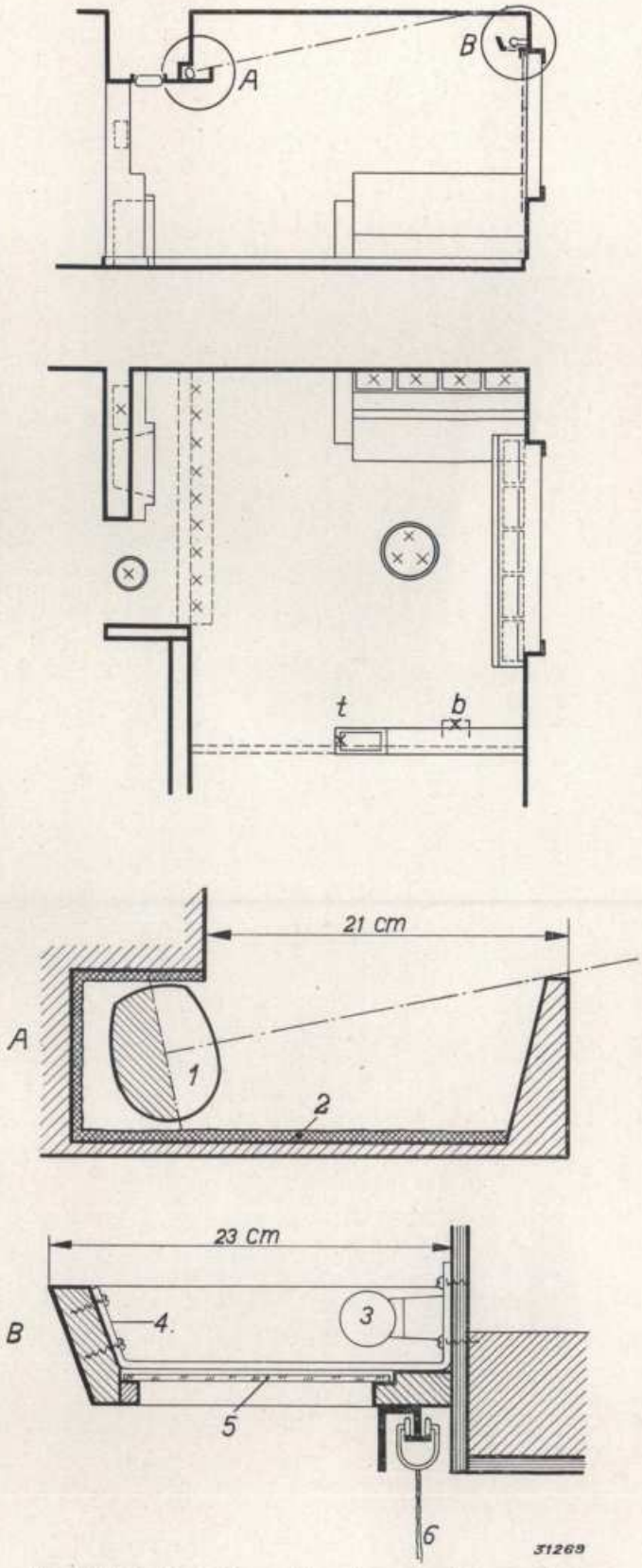

Fig. 7. Schematische doorsnede en bovenaanzicht van de verlichtingssystemen in de woonkamer. Behalve de onder fig. 5 en 6 besproken verlichtingssystemen ziet men met kruisjes aangeduid de verlichting van de boekenkast (*b*) en de theetafel (*t*). De verlichting boven de haard (*A*) en boven het gordijn (*B*) zijn daarna meer in detail weergegeven. *1* „Cornalux"-lampen 60 W, onderlinge afstand 33 cm; *2* asbest; *3* „Philinea"-lampen 40 W; *4* witgeschilderd vlak; *5* gematteerd, gefigureerd glas; *6* gordijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 8. Eetkamer. Indirecte verlichting met vier „Cornalux"-lampen van 60 W. Verlichting boven het dressoir door vijf lampen van 25 Dlm boven een plafond van opaalglas. Directe verlichting, op de tafel gericht, vanuit een spiegelreflector „Philiray" SC 255 met een „Argenta" lamp van 200 W. Gemiddelde verlichtingssterkte op de tafel 250 lux. Deze verlichting is in de foto niet in werking, maar wel in fig. 1.

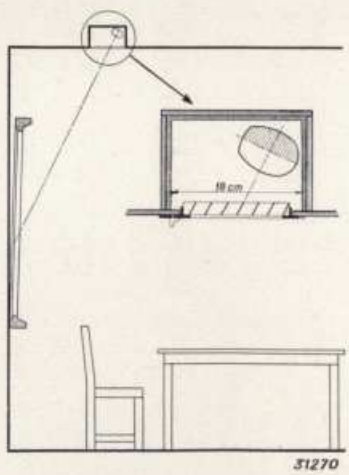

Fig. 9. Verlichting van een schilderij in de eetkamer door een „Cornalux"-lamp van 100 W, die in het plafond is ingebouwd. Door een metalen roostertje is de lamp aan het oog onttrokken. Het licht is onder een kleine hoek op het schilderij gericht, waardoor dit laatste niet kan spiegelen.

meer kosten dan een goede lichtkroon of schemerlamp, waarmede echter moeilijk hetzelfde lichteffect is te verkrijgen.

De eetkamer, die in *fig. 8* is weergegeven en die ook in fig. 1 te zien is, stelt geheel andere problemen. In de eerste plaats vraagt hier de tafel om een zeer goede verlichting, liefst direct en met eenige schittering, om het kristal en zilver op de tafel mooi te doen uitkomen. Daartoe is boven de tafel aan het plafond een zeer eenvoudig houten ornament aangebracht, dat weinig ruimte inneemt. Het spreekt vanzelf, dat dit ornament op vele manieren in vorm en materiaal decoratiever zou kunnen worden gemaakt. In een vierkante doos is een zilveren reflector met een groote lamp aangebracht, die afgeschermd is door een rooster van verticale schotjes. Het licht valt dus hoofdzakelijk in verticale richting en geeft een verlichting van ongeveer 250 lux juist op het tafelblad.

Deze verlichting alleen zou te groote contrasten veroorzaken tusschen het sterk verlichte tafellaken en de wanden. Een bijverlichting bijv. in een nis boven het dressoir verbetert al zeer de stemming van de kamer. Bovendien heeft men het voordeel, dat men niet in zijn eigen schaduw behoeft te werken, wanneer men aan het dressoir bezig is.

Als alternatief, of samen met de directe verlichting van de tafel, is om de middenreflector een lichtlijst gemaakt, waarin een indirecte verlichting is aangebracht, die op tafelhoogte in de geheele kamer nog een verlichting van 75 lux geeft. Dit maakt natuurlijk ook de wanden veel helderder. Deze indirecte verlichting is rustiger en diffuser dan de directe verlichting, en zal vooral worden gebruikt, indien de kamer niet als eetkamer dient, maar bijv. voor huiswerk van kinderen of voor het lezen aan de tafel. In fig. 8 is de indirecte verlichting in werking, terwijl in fig. 1 de directe verlichting brandt.

Tenslotte is in het plafond een kleine lichtbron aangebracht, waarmee de leege achterwand van de eetkamer kan worden verlicht. Deze verlichting (zie *fig. 9*) is bedoeld om te worden toegepast, indien op deze wand een schilderij wordt opgehangen. Het is nl. een feit, dat het oog steeds getrokken wordt naar de helderste plaatsen. Wanneer nu een schilderij op een lichte wand hangt, dan

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 10. Zit-Slaapkamer. Algemeene verlichting door een plafonnier (zie fig. 1). Bijverlichting in een nis naast het bed, verder onder het bed en op de schrijftafel.

krijgt men het conflict, dat de muur het helderst is en dus het oog aantrekt, terwijl het schilderij, dat meestal veel donkerder kleuren bevat en dus een minder heldere vlek vormt, juist die aandacht verdient. Wanneer men nu plaatselijk op het vlak van het schilderij een flinke bijverlichting geeft, bijv. 80 lux, dan wordt deze tegenstelling opgeheven en het schilderij komt veel beter tot zijn recht.

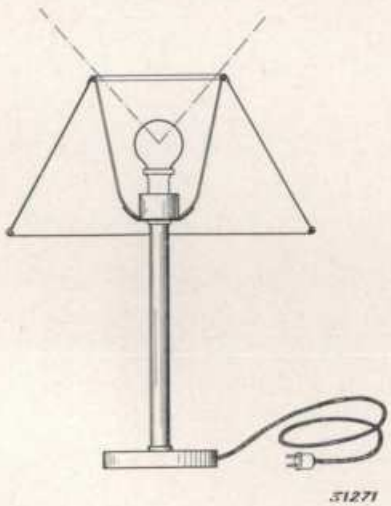

Fig. 11. Doorsnede van de bureaulamp in de zit-slaapkamer. De lamp van 125 Dlm geeft door een opaal overtrokken kelk een diffuse verlichting van het werkvlak en tegelijkertijd een directe uitstraling naar het plafond. De kelk is voor het oog afgeschermd door een kap van perkament.

In de zit-slaapkamer, die in fig. 1, rechts van de eetkamer, gedeeltelijk zichtbaar is, en die in *fig. 10* afzonderlijk is afgebeeld, zijn verschillende kleine lichttoepassingen te zien, die zeer bijdragen tot het comfort, dat in zulk een kamer kan worden bereikt. Voor de algemeene verlichting is er een plafonnier, die, ter vermijding van al te groote nuchterheid, in een verdiepte cirkel in het plafond is geplaatst. Het is bijv. aardig dit cirkelvlak een heel lichte kleur te geven. Naast het bed is een verlicht nisje, dat plaats biedt voor een klokje en dat voor lezen in bed zeer geschikt is. Onder het bed is een kleine lamp aangebracht, die de grond voldoende verlicht, zoodat men gemakkelijk in de kamer kan loopen zonder de slapende te storen. Dit kan van belang zijn, indien een kind of een zieke in het bed slaapt.

Op het bureau is een tafellamp geplaatst, waarvan een doorsnede in *fig. 11* is weergegeven. Deze lamp bevat een lichtbron van 125 Dlm en geeft op het tafelvlak op 30 cm afstand van de voet een verlichtingssterkte van 300 lux, op 50 cm 200 lux en op 60 cm nog 110 lux. Het licht wordt diffuus gespreid door een opalen scherm, dat in de kap is aangebracht. Tevens dient dit opalen scherm als reflector en geeft een indirecte verlichting via plafond en wanden, waardoor de geheele ruimte een prettige lichte achtergrond vormt voor het helder verlichte werkvlak.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

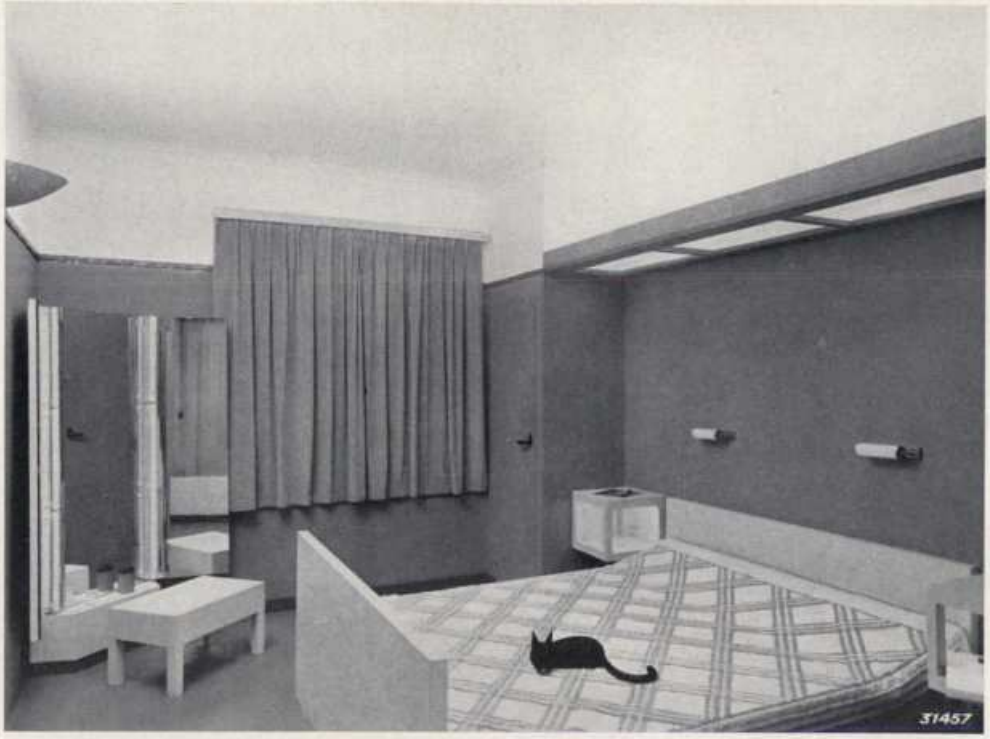

Fig. 12. Slaapkamer. Algemeene verlichting door een paneel van matglas, tusschen twee muurkasten aangebracht. Bijverlichting van het plafond door een reflector aan het tegenover gelegen wandvlak. Verlichting van de spiegel door buislampen aan weerszijden. Naast het bed verlichting van de nachtkastjes en van de muurkasten.

De laatste kamer van de reeks, de slaapkamer, is hoofdzakelijk indirect verlicht door een lichtlijst boven het bed (zie *fig. 12*). Deze lijst is bevestigd tusschen twee muurkasten en aan de onderzijde voorzien van matglas. Hierdoor heeft men aan het hoofdeinde van het bed iets meer licht dan het algemeene verlichtingsniveau van de kamer en de verlichtingssterkte is voldoende groot om te kunnen lezen. Toch schijnt er, wanneer men in het bed ligt, geen hinderlijk licht direct in de oogen, wat bijv. bij een opgehangen middenornament haast onvermijdelijk is.

De groote spiegel heeft over de geheele hoogte buislampen aan iedere kant. Dit geeft een zeer ruime verlichting van wel 400 lux op de persoon ervóór. Hierbij valt op, dat de indruk van het spiegelbeeld zeer veel beter wordt, indien de achtergrond, dus de muur tegenover de spiegel, goed helder is. Dit wil zeggen, dat het contrast tusschen de buislampen en de achtergrond, die men weerspiegeld ziet, zoo klein mogelijk gemaakt moet worden.

In de muurkasten zijn lampen aangebracht, die bij het openen van de deuren automatisch aangaan. Het voordeel van deze kastverlichting behoeft wel geen betoog; immers zonder deze verlichting staat men zich zelf bij het gebruik van een kast altijd in het licht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

1378: K. F. Niessen und C. J. Bakker: Einige Bemerkungen zur Theorie der Brownschen Bewegung (Physica **5**, 977-985, Dec. 1938).

In de theorie der Brownsche beweging vereischt de afleiding volgens Lorentz van de formule van Einstein voor de verplaatsing in een bepaald tijdsinterval een nadere preciseering van enkele hierbij optredende tijdsduren. Hun vereischte verhouding wordt afgeleid en schijnt op het eerste gezicht in tegenspraak te zijn met de correlatietheorie van Ornstein. Deze schijnbare tegenspraak wordt opgeheven met behulp van eenige vormen van impulsfuncties.

1379: B. D. H. Tellegen und J. Haantjes: Gegenkopplung (El. Nachr. Technik **15**, 353-358, Dec. 1938).

Uit beschouwingen over de tegenkoppeling van een versterker met behulp van een willekeurige achtpool wordt afgeleid, dat men vier verschillende soorten van tegenkoppeling kan onderscheiden, nl.:
1) van de uitgangsspanning op de ingangsspanning;
2) van de uitgangsstroom op de ingangsspanning;
3) van de uitgangsspanning op de ingangsstroom en
4) van de uitgangsstroom op de ingangsstroom.

De voorwaarden worden aangegeven, die vervuld moeten zijn, ten eerste opdat de tegengekoppelde versterker niet terugwerkt van de uitgangsklemmen naar de ingangsklemmen en dit zelfs niet, wanneer de versterking van de oorspronkelijke versterkervierpool verandert bij constante ingangs- en uitgangsweerstand, en ten tweede opdat in het laatste geval de ingangs- en uitgangsweerstand van de tegengekoppelde versterker niet veranderen. Op deze wijze komt men tot de door Black aangegeven schakeling met twee bruggen, die in evenwicht zijn.

1380: W. Uyterhoeven et C. Verburg: Température des électrons T_e dans une décharge à colonne positive en courant alternatif (50 ~). Méthode expérimentale (C.R. Acad. Sci., Paris, **207**, 1386-1388, Dec. 1938).

Met behulp van een sonde wordt de temperatuur gemeten van de ongeordende beweging der electronen in een positieve zuilontlading, die op wisselstroom van 50 per/sec brandt. Door een speciale inrichting wordt er voor gezorgd, dat de meting geschiedt bij een naar keuze in te stellen fase van de wisselstroom, zoodat men het verloop van de electronentemperatuur met de fase bepalen kan.

1381: M. J. O. Strutt: Moderne Kurzwellen-Empfangstechnik (Funktechn. Mh., 309-313 en 331-339, Oct. en Nov. 1938).

In deze voor het Koninklijk Instituut van Ingenieurs in April 1938 gehouden vacantiecursus werd een samenvattend overzicht gegeven van de ontvangtechniek op korte golven, waarvoor wij o.a. kunnen verwijzen naar Philips techn. T. **3**, 104, 1938 en naar verschillende hier gerefereerde publicaties van denzelfden schrijver.

1382: W. de Groot: De fluorescentie van fosforen (Ned. T. Natuurk. **5**, 257-268, Nov. 1938).

Het verloop met den tijd van de fluorescentie van uraanglas en van een zinksulfide-koper-fosfor wordt onderzocht bij periodieke belichting met monochromatisch ultraviolet licht. Plaatst men een absorptiescherm afwisselend in het opvallende en in het fluorescentielicht, dan wordt het verloop van de intensiteit met den tijd bij uraanglas niet beïnvloed maar bij zinksulfide-koper-fosfor wel. In het tweede geval hangt het verloop met den tijd ook sterk af van de golflengte van het opvallende licht. Deze experimenten geven eenige aanwijzing betreffende de aard van het aan de luminescentie ten grondslag liggende mechanisme. Bovendien is het mogelijk hieruit de relatieve waarden der absorptiecoëfficienten te bepalen. Een temperatuurdaling tot —190 °C heeft weinig of geen invloed op het afnemen met den tijd van de fluorescentie van een zinksulfide-koper-fosfor, terwijl een verhooging van de temperatuur met eenige honderden graden de snelheid van toe- en afname dezer fluorescentie aanzienlijk vergroot. Bij ongeveer 400 °C is deze luminescentie geheel verdwenen.

1383: J. H. Gisolf: Fosforen (Ned. T. Natuurk. **5**, 289-300, Dec. 1938).

Op grond van vele experimenteele gegevens kan de volgende voorstelling worden ontwikkeld betreffende het mechanisme der fosforescentie. Door ultraviolette absorptie worden electronen in de geleidingstoestand gebracht. Keeren zij terug naar de grondtoestand door open plaatsen te bezetten, dan ontstaat een kortdurend nalichten (fluorescentie). Een gedeelte der electronen valt niet onmiddellijk terug, maar wordt in metastabiele toestanden gebonden. Uit deze metastabiele toestanden kunnen zij worden vrijgemaakt door warmte of infraroode bestraling, waardoor zij weer in de geleidende toestand worden gebracht, van waaruit zij in de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

grondtoestand kunnen komen door gewoon terug te vallen. Het licht, dat daarbij wordt uitgezonden, levert het lange nalichten (fosforescentie). De electronen, die door infrarood licht zijn vrijgemaakt, maar geen fosforescentie leveren, blijken volgens het experiment de geleidingstoestand niet te bereiken en hun energie gaat blijkbaar in warmte verloren (infrared quenching; Tilgung).

1384: Balth. van der Pol: Application of the operational or symbolic calculus to the theory of prime numbers (Phil. Mag. **26**, 921-940, Dec. 1938).

Met behulp van de operatorenmethode zijn verschillende problemen uit de theorie der priemgetallen op overzichtelijke wijze behandeld, daar het operatorische „beeld" van de hierbij optredende discontinue functies continu is. Daar „beeld" en „origineel" één-éénduidig zijn toegevoegd aan elkaar, is het mogelijk uit het continue „beeld" conclusies te trekken betreffende het discontinue „origineel".

1385*: A. Bouwers: Die Technik der Neutronenerzeugung und der Erzeugung künstlicher Radioaktivität (Fortschr. Röntgenstr. (Tagungsheft) **58**, 79-80, Dec. 1938).

Naar aanleiding van deze samenvattende voordracht is een uitgebreider artikel verschenen in Strahlentherapie (vgl.: **1371**).

1386*: J. H. van der Tuuk: Messungen an Röntgenstrahlen bis 1 Million Volt (Fortschr. Röntgenstr. (Tagungsheft) **58**, 84-86, Dec. 1938).

Voor de inhoud van deze voordracht kan in hoofdzaak worden verwezen naar een artikel van denzelfden schrijver in Philips techn. T. **4**, 161, 1939.

1387: R. Houwink and Ph. N. Heinze: Plastometry of synthetic resins (Industr. eng. Chem. **10**, 680-683, Dec. 1938).

Voor de beoordeeling van de kwaliteit van harsen is het vooral voor hardende harsen van veel belang de snelheid van harden en het verweekingspunt te kennen. In dit artikel wordt de plastometer van Schopper en Houwink beschreven en de hiermede verkregen resultaten worden nader besproken.

1388: R. Vermeulen: Mechanical recording of sound on film (Proc. 3rd Int. Congr. Phon. Sci., Ghent 1938, p. 152-156).

In deze voordracht werd een korte beschrijving gegeven van het Philips-Miller-systeem voor geluidsregistratie; vgl. **1316** en **1342** en ook: Philips techn. T. **1**, 107, 135, 211 en 230, 1936.

1391: J. H. Gisolf: The absorption spectrum of luminescent zinc-sulfide and zinc-cadmium-sulfide in connection with some optical, electrical and chemical properties (Physica **6**, 84-96, Jan. 1939).

De absorptiespectra van zinksulfide en zinkcadmiumsulfide, die met koper, zilver en mangaan zijn geactiveerd, gelijken veel op elkaar; de absorptie neemt toe voor kortere golven en verkrijgt bij een bepaalde golflengte ineens een zeer groote waarde. Deze golflengte hangt voor zinksulfide niet af van de kristalstructuur en evenmin veel van het gehalte aan koper en zilver. Ze is de absorptiekant van het hoofdbestanddeel. De groote toename ligt voor zinksulfide bij 3350 Å. Bij zinkcadmiumsulfide verplaatst de grens zich ongeveer evenredig met het gehalte aan cadmium naar grootere golflengte. Bij de zinkmangaansulfiden is geen eenvoudig gedrag vast te stellen. Aan zinksulfide is waar te nemen, dat de fundamenteele absorptie een luminescentie veroorzaakt, die karakteristiek is voor de activator. De absorptiegrens blijkt een scherpe scheiding aan te geven tusschen een gebied met belichtingstijden veel kleiner dan 1 sec, resp. van seconden of zelfs minuten. Dit is gemakkelijk te verklaren, als het fosforescentieproces door een bimoleculaire reactie mag worden voorgesteld. Door de groote absorptie ontstaat een groote dichtheid van vrije electronen en derhalve een groote reactiesnelheid, zoodat de intensiteit snel afneemt. De grens, aan de zijde der korte golven, van het lichtelectrische geleidingsvermogen stemt precies overeen met de grens, aan de zijde der lange golven, der kristalabsorptie. Deze laatste is tegelijkertijd ook de grens aan de zijde der lange golven voor het fotochemisch zwart worden van mengkristallen van zinksulfide en zinkcadmiumsulfide onder bestraling, als er waterdamp bij aanwezig is. Tenslotte wordt een verklaring der kristalabsorptie besproken.

---

*) Van publicaties, gemerkt met een *, is geen voor verspreiding voldoend aantal overdrukken beschikbaar. Van de andere publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvraag gaarne overdrukken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!